



Acta Agronómica

ISSN: 0120-2812

ISSN: 2323-0118

Universidad Nacional de Colombia

Barzan., Renan Ribeiro; Takahashi., Hideaki Wilson; de Freitas Fregonezi., Gustavo Adolfo;
Di Loreto y Sampaio., Marita; Firmano., Ruan Francisco; Sandoval Contreras., Hector Augusto
Manejo de nutrientes en solución basado en la conductividad eléctrica y concentración
de iones en lixiviados de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Acta Agronómica, vol. 69, núm. 3, 2020, Julio-Septiembre, pp. 196-202
Universidad Nacional de Colombia

DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.81441>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169968951007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Manejo de nutrientes en solución basado en la conductividad eléctrica y concentración de iones en lixiviados de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Management of nutrients in solution based on electrical conductivity and ionic concentrations in leached of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Renan Ribeiro Barzan. ¹, Hideaki Wilson Takahashi.², Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi.³, Marita Di Loreto y Sampaio. ⁴, Ruan Francisco Firmano. ⁵, Hector Augusto Sandoval Contreras. ⁶

¹Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-Paraná, Brasil. ✉ renan_barzan@hotmail.com

²Universidade Estadual de Londrina, Brasil. ✉ hwtakahashi@gmail.com

³Centro Universitário Filadélfia, Brasil. ✉ gustavofregonezi@yahoo.com.br

⁴Universidade Estadual de Londrina, Brasil. ✉ marita_diloreto@hotmail.com

⁵Universidade de São Paulo – USP, Brasil. ✉ ruanff@usp.br

⁶Corporación colombiana de investigación agropecuaria – Agrosavia, Colombia. ✉ hectorsanco@hotmail.com

Rec.: 2019-08-01. Acep.: 2020-11-04.

Resumen

La fertirrigación se caracteriza por una mayor eficiencia en el uso de insumos como agua y fertilizantes, además de la facilidad para programar la aplicación de nutrientes según los requerimientos de cultivo. El objetivo en este estudio fue evaluar dos formas diferentes de manejo de fertirrigación utilizando lixiviados resultantes de la aplicación de insumos de síntesis en cultivo tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Los manejos se basaron en la conductividad eléctrica (CE) y la concentración individual de iones (CI) en el lixiviado, con dos niveles base iniciales de nutrientes (1.6 y 3.2 dS/m). Los lixiviados fueron recolectados cada semana para analizar la CE y la CI de N, P, K, Ca, Mg y S, y con base en ellos manejar los nutrientes en solución. Cuando el valor de CE eran menores o mayores que el 20% del valor establecido, la solución nutritiva fue diluida o concentrada en un porcentaje igual, adicionando agua o una solución principal (20 dS/m), respectivamente. Los resultados mostraron que, las aplicaciones de N, P y K fueron más altas en el manejo CI, pero no así para Ca y Mg, lo que afecta el estado nutricional de la planta. Los parámetros fitotécnicos de los frutos de tomate presentaron mejores características cuando se utiliza la CE como criterio para el manejo de fertirrigación, mientras que el incremento en el nivel inicial de nutrientes se reflejó en una mayor producción.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill.; Cultivo protegido; Fertirrigación; Nutrición de hortalizas; Solución nutritiva.

Abstract

Fertigation is characterized by greater efficiency in the use of inputs such as water and fertilizers, in addition to the ease of programming the application of nutrients according to crop requirements. The objective of this study was to evaluate two different forms of fertigation management using leachates resulting from the application of synthetic inputs in tomato cultivation (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Management was based on the electrical conductivity (EC) and individual ion concentration (CI) in the leachate, with two initial base levels of nutrients (1.6 and 3.2 dS / m). Leachates were collected every week to analyse EC and IC of N, P, K, Ca, Mg and S, and based on this, manage nutrients in solution. When the EC value was less than or greater than 20% of the established value, the nutrient solution was diluted or concentrated in an equal percentage, adding water or a main solution (20 dS / m), respectively. Results showed that applications of N, P and K were higher in IC management, but not so for Ca and Mg, which affects the nutritional status of the plant. Phytotechnical parameters of tomato fruits presented better characteristics when CE is used as a criterion for fertigation management, while the increase in the initial level of nutrients was reflected in a higher production.

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill.; Protected cultivation; Fertigation; Nutrient solution; Vegetable crop nutrition.

Introducción

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) protegido en casa de malla como respuesta a limitaciones de clima, especialmente precipitación excesiva en verano y bajas temperaturas en invierno permite a los agricultores la producción de frutos de buena calidad a través del año (Carrijo et al., 2004). La fertirrigación, o aplicación de nutrientes conjuntamente con el agua de riego, facilita el control de la salinización en el suelo y los problemas sanitarios en las plantas. Según Fontes et al. (2004) el sustrato que reemplaza el suelo debe proporcionar una buena aireación y agua suficiente a las raíces de las plantas, además, debe ser fácilmente disponible y estable, no ser contaminante y no permitir la propagación de patógenos y plagas.

La arena limpia es uno de los sustratos más comunes en los sistemas de cultivo de tomate en ambientes protegidos. Entre sus ventajas se encuentran el bajo costo, puede ser reutilizada y es prácticamente inerte, con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que facilita el manejo de fertirrigación (Fernandes, Corá y Braz, 2006); no obstante, su baja capacidad de retención de agua dificulta el manejo de los lixiviados y aumenta las frecuencias de aplicación de riegos (Makishima y Carrijo, 1998).

La fertirrigación es una técnica que consiste en la aplicación simultánea de agua y nutrientes, lo que aumenta la eficiencia en el uso de estos recursos de producción, especialmente cuando la solución nutritiva es aplicada de forma localizada (Folegatti, 1999). Para el monitoreo de los nutrientes en este sistema es posible utilizar varios procedimientos (Braccini, Braccini y Martínez, 1999), entre ellos: el análisis de los extractos de saturación y/o acuoso y los lixiviados resultantes. El muestreo y análisis de estos últimos es rápido, fácil de procesar y no destructivo (Torres, Mickelbart, Lopez, 2010), por lo que permite evaluar parámetros importantes como la conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de iones (CI).

La CE indica la concentración de iones en la solución nutritiva. A medida que ésta es más alta, mayor es la capacidad de conducir corriente eléctrica (Helbel et al., 2008). La CE y la CI pueden ser utilizados para evaluar la dinámica de la demanda de nutrientes en un cultivo. Cuanto los valores de estos parámetros son altas en la solución lixiviada, significa que la planta no está absorbiendo los elementos en la misma tasa que están siendo aplicados (Cavins et al., 2008). En consecuencia, además del desperdicio de fertilizantes, si el nivel de nutrientes aplicados es mayor que la absorción por las plantas, existe

el riesgo de un aumento excesivo de la CE y la salinidad en el suelo o sustrato, especialmente cuando el nivel inicial de aporte de nutrientes es alto, lo que puede provocar reducción de la producción comercial de frutos (Dorais, Papadopoulos, Gosselin, 2001; Eloi et al., 2011; Medeiros et al., 2012).

Aunque la CI proporciona información más detallada sobre este proceso, requiere equipos de laboratorio más complejos, elevando los costos en relación con la evaluación de la CE. De esta forma, escoger uno de estos métodos para monitorear el lixiviado y direccionar el manejo de la solución nutritiva debe considerar, además de los costos, la eficiencia de la productividad de las plantas. El objetivo de este trabajo fue comparar manejos de solución nutritiva teniendo como base el monitoreo de la CE o la CI en el lixiviado y los efectos del nivel inicial de nutrientes, sobre la productividad del tomate fertirrigado y cultivado en sustrato de arena.

Materiales y métodos

El experimento fue realizado en el Centro de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal de Londrina, Londrina-PR (23°23' S; 51° 11' O; 560 m.s.n.m.), Brasil, en casa de mallas modelo 'techo de arco', con cobertura de polietileno de baja densidad (0.150 mm) en techo y cortinas laterales. El cultivo consistió en plantas de tomate en vasos con aplicación de nutrientes en sistema fertirrigación por el sistema de goteo. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar en un esquema factorial de 2 x 2 con diez repeticiones. Como bases para el manejo de la solución nutritiva fueron utilizadas la conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de iones (CI) en el lixiviado. Los niveles iniciales de nutrientes, estuvieron basados en valores de 1.6 y 3.2 dS/m para la CE, de acuerdo con las concentraciones de nutrientes (mg/l), de la forma siguiente: N= 198 y 396; P = 43.6 y 87.2; K = 152 y 304; Ca = 233 y 466; Mg = 27 y 54; S = 39 y 78; B = 0.63 y 1.26; Cu = 0.11 y 0.22; Fe = 2.75 y 5.50; Zn = 1.95 y 3.90; Mn = 0.74 y 1.48; Mo = 0.01 y 0.02 .

Las plántulas de tomate (híbrido Paronset), de crecimiento indeterminado y frutos redondos con 200 a 220 g de peso, fueron trasplantadas el 01/05/2014 con 6.75 ± 0.8 cm de altura, a vasos de polipropileno con 9 dm³ de capacidad. Los vasos, con orificios en la base, fueron llenados con arena gruesa limpia y colocados sobre una bandeja de plástico para retener la solución lixiviada.

La arena fue lavada antes del trasplante de las plántulas y caracterizada por sus atributos químicos y de textura, de acuerdo con la

metodología de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1997) (Silva, 2009). Los valores obtenidos en estos análisis fueron los siguientes: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2\ 0,01\ M} = 6.7$; $\text{H}^+/\text{Al} = 1.51\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{Ca}^{2+} = 0.34\ \text{cmol}/\text{dm}^3$; $\text{Mg}^{2+} = 0.16\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{K}^+ = 0.005\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{CIC}_{\text{pH}\ 7,0} = 2.015\ \text{cmol}_c/\text{dm}^3$; 5,4 g/kg de limo + arcilla; 142 g/kg de arena fina; 844 g/kg de arena gruesa y 8.7 g/kg de grava.

Los vasos fueron dispuestos en líneas a 0.8 m y 0.3 m entre plantas, para un total de siete líneas con diez vasos. Las dos líneas laterales, el primer y último vaso de las cinco líneas centrales fueron consideradas como borde, disponiendo dos bloques de cinco vasos en cada línea útil. En cada vaso se cultivó una planta de tomate, como unidad experimental. En las extremidades de cada línea fueron colocados tutores de madera con hilos de propileno como soporte de las plantas.

El sistema de fertirrigación consistió en bombas Atman® AT 203 (18.6 kPa y 32 W) sumergidas en tanques de 250 litros de capacidad, que fueron conectadas a un temporizador programado para accionamiento diario del riego de acuerdo con las demandas hídricas de las plantas (Camargo, Marin, Sentelhas y Picini, 1999). La solución nutritiva fue aplicada por goteo con una cantidad aproximada de 5 ml/s. La aplicación fue direccionada al tallo, para formar un bulbo húmedo en la región de mayor concentración de raíces. Los fertilizantes aplicados fueron: NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KCl, MgSO_4 , Rexolin BRA (2.1% B; 2.66% Fe; 3.38% Zn; 2.48% Mn; 0.36% Cu y 0.036% Mo) y Rexolin M48 (6.5% Fe-EDDHMA).

Después del trasplante se aplicó una solución nutritiva con CE 1.2 dS/m en forma uniforme para todos los tratamientos; posteriormente, se aplicaron las soluciones evaluadas de 1.6 y 3.2 dS/m. El monitoreo del lixiviado para las diferentes formas del manejo de la solución nutritiva se inició 56 días después del trasplante (DDT).

Cada semana, después de 1 hora de la aplicación de la solución nutritiva, se recolectaron alícuotas de 20 ml del lixiviado presente en las bandejas plásticas colocadas en la base de los vasos. La CE fue obtenida por lectura con conductímetro portátil y las concentraciones de iones fueron evaluadas según Silva (2009).

Para el manejo de la CE se tomó como base un valor de $\pm 20\%$ de la conductividad del lixiviado en relación con el valor establecido, la solución nutritiva como un todo fue diluida o concentrada en 20%, agregando agua o una solución principal (20 dS/m), respectivamente. Para el manejo de la CI se siguió un procedimiento similar al de la CE, en este caso, la concentración de cada

macronutriente fue reducida o aumentada en 20%, de acuerdo con la concentración observada en el lixiviado vs. el nivel establecido inicialmente.

Las cantidades de macronutrientes aplicadas al final del cultivo en cada tratamiento fueron calculadas por medio de las concentraciones de la solución nutritiva y de su volumen aplicado (l/vaso por día). Las cantidades adicionadas por día (mg/vaso por día) fueron sumadas y convertidas en g/m², utilizando como arreglo espacial de los vasos con un valor de 4.16 vasos/m².

El manejo del cultivo se hizo según las prácticas tradicionales. La poda apical se hizo en la tercera inflorescencia principal y en la segunda inflorescencia del tallo secundario, totalizando cinco inflorescencias por planta.

El estado nutricional de la planta fue evaluado a 85 DDT tomando como muestra la hoja índice, por encima de la segunda inflorescencia del tallo principal. Los tejidos fueron lavados, secados en estufa de ventilación por aire a 55 °C hasta obtener masa constante, triturados en molino tipo Wiley, pesados y sometidos a digestión ácida para los análisis de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe y Mn, de acuerdo con Malavolta, Vitti y Oliveira (1997).

Los frutos de tomate fueron recolectados periódicamente, hasta 125 días DDT, pesados en balanza semianalítica para masa fresca media (MFm) y total (Mft), y medición de diámetro transversal (DT) y longitud (L). En la pulpa del fruto se evaluó la cantidad de sólidos solubles totales (SST) por lectura de refractómetro portátil.

Los datos fueron evaluados por homocedasticidad y normalidad de residuos, respectivamente por los tests de Hartley y Shapiro Wilk, sometidos a comparación de medias por la prueba 't' de Student ($P < 0.05$), utilizando el programa de software SISVAR 5.3.

Resultados y discusión

El manejo de la solución nutritiva con base en la concentración individual de iones del lixiviado (CI) mostró una mayor necesidad N, P y K; por el contrario, mientras el manejo con CE mostró un mayor requerimiento de Ca y Mg, en ambos niveles de 1.6 y 3.2 dS/m. El incremento de 1.6 para 3.2 dS/m mostró un incremento en la aplicación final de todos los macronutrientes (Tabla 1).

En ambos niveles, el manejo de la CE presentó el mismo orden de aplicación de los macronutrientes que el establecido para las concentraciones de la solución nutritiva (Tabla 1), siendo el orden: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{S} > \text{Mg}$, debido

a la necesidad de mantener las relaciones entre nutrientes durante el ciclo de cultivo. Por el contrario, estas relaciones en el manejo con base en la CI fueron variables, modificando el orden de suministro de macronutrientes comparado con el establecido en el comienzo del cultivo, resultando: $K > N > Ca > P > S > Mg$ en el nivel de 1.6 dS/m; y $N > K > Ca > P < S > Mg$ en el nivel 3.2 dS/m (Tabla 1).

Estos resultados tuvieron implicaciones sobre la absorción de nutrientes, que fueron reflejados en los contenidos de estos en la hoja índice. Para N, P, K y S, los mayores valores fueron observados cuando la solución nutritiva fue manejada con base en las CI del lixiviado (Tabla 2). Esto se observa por la mayor aplicación de estos nutrientes; excepto S, que presentó cantidades aplicadas similares para ambos manejos (Tabla 1); por tanto, este nutriente presenta sinergismo con los demás aplicados, especialmente nitrógeno (Malavolta y Morais, 2007), el cual está relacionado con su aumento en el contenido foliar.

El nivel de aplicación de 3.2 dS/m sólo aumentó ligeramente los contenidos de K y S (Tabla 2), no obstante, la mayor aplicación de todos los macronutrientes en este nivel. Con excepción de K, que presentó un contenido inferior al nivel crítico en 1.6 dS/m, y superior al adecuado en el tratamiento de 3.2 dS/m, así como el P que presentó contenidos superiores al adecuado en todos los tratamientos, los demás macronutrientes mantuvieron los contenidos dentro del rango de suficiencia (Campbell, 2013; Malavolta et al., 1997), independiente del tratamiento.

El manejo de la solución nutritiva afectó los contenidos de Cu, Zn y Fe en la hoja índice en ambos niveles, mientras que el Mn sólo fue afectado en el nivel 1.6 dS/m, (Tabla 2). En ambos sistemas de manejo las concentraciones de estos micronutrientes fue igual; por tanto, el efecto observado fue debido a la relación con otros nutrientes, posiblemente Ca, el cual fue aplicado en mayor dosis en el manejo CE, lo que resultó

en una reducción de estos micronutrientes. Esto fue observado por França, Haag y Dechen (1987) quienes hallaron una relación antagónica entre Ca y micronutrientes catiónicos.

El aumento en el nivel de iones elevó los contenidos de Cu, Zn, Mn y Fe (Tabla 2). Excepto para Zn, que presentó un contenido más bajo que el óptimo en el nivel 1.6 dS/m. De acuerdo con Campbell (2013) el contenido de Cu fue adecuado y Fe y Mn fueron excesivos, independiente del manejo o del nivel inicial en la solución nutritiva.

Tabla 2. Contenido de nutrientes (g/kg) en hoja índice de tomate cultivado en solución nutritiva y manejada por valores de conductividad eléctrica (CE) y concentraciones individuales de iones (CI) del lixiviado, con dos niveles iniciales de CE de la solución nutritiva.

Manejo	Nivel de CE (dS/m)		Prom.	CV (%)
	1.6	3.2		
Nitrógeno				
CE	35.27	35.31	35.29 B	6.27
CI	37.33	38.18	37.76 A	
Prom.	36.30 a*	36.75 a		
Fósforo				
CE	6.89	7.12	7.01 B	12.30
CI	7.56	8.09	7.82 A	
Prom.	7.22 a	7.61 a		
Potasio				
CE	23.99	46.51	35.25 B	13.65
CI	32.28	51.54	41.91 A	
Prom.	28.14 b	49.03 a		
Calcio				
CE	26.29	25.09	25.69 A	23.82
CI	26.19	22.15	24.17 A	
Prom.	26.24 a	23.62 a		
Magnesio				
CE	3.90	3.70	3.80 A	12.79
CI	3.70	3.48	3.59 A	
Prom.	3.80 a	3.59 a		
Azufre				
CE	5.22	10.32	7.77 B	14.85
CI	6.96	13.08	10.02 A	
Prom.	6.09 b	11.70 a		
Cobre				
CE	0.66	8.54	6.05 B	24.35
CI	7.57	15.35	11.81 A	
Prom.	5.47 b	12.39 a		
Zinc				
CE	6.22	32.90	19.56 B	22.10
CI	12.67	45.02	28.85 A	
Prom.	9.45 b	38.96 a		
Manganeso				
CE	274.36 bB	504.51 aA	389.43	18.20
CI	364.14 bA	487.87 aA	426.01	
Prom.	319.25	496.19		
Hierro				
CE	446.43	413.77	430.10 B	18.71
CI	548.90	485.24	517.07 A	
Prom.	497.67 a	449.50 a		

* Promedios seguidos de letras diferentes, mayúsculas en las columnas y minúsculas en las líneas, difieren por el test de 't' de Student ($P < 0.05$).

Tabla 1. Cantidades de macronutrientes aplicados en fertirrigación de tomate en cada tratamiento, con base en dos niveles de CE y CI..

Tratamiento*	N	P	K	Ca	Mg	S	Total
----- g/m ² -----							
CE/1.6	52.25	11.30	39.42	60.08	7.58	10.08	176.58
CE/3.2	89.99	19.50	67.87	90.99	13.08	17.37	311.33
CI/1.6	61.83	16.62	67.71	37.12	6.79	8.92	199.04
CI/3.2	130.21	22.62	88.50	77.54	12.25	17.42	348.54

*CE/1.6 y 3.2 = Manejo de la solución nutritiva basado en la conductividad eléctrica (CE) y la concentración de iones (CI) en el lixiviado con niveles iniciales de 1.6 y 3.2 dS/m.

CI/ 1,6 y 3,2 = Manejo de la solución nutritiva basado en las concentraciones individuales del lixiviado con nivel inicial de 1,6 y 3,2 dS m⁻¹.

El promedio de la masa fresca del fruto (MFm), el diámetro transversal (DT) y la longitud del fruto (L) fueron mayores con el manejo de la solución utilizando la CE, que también proporcionó una mayor productividad de masa fresca total (MFt) cuando fue asociado con el nivel de 3.2 dS/m (Tabla 3). A pesar de la superioridad ($P < 0.05$) del manejo CE para las variables relacionadas con el tamaño de los frutos, se observó que los aumentos no fueron tan diferenciados, siendo 10.5% para MFm, 3.3% para DT y 2.9% para L (Tabla 3). Los valores promedio obtenidos fueron menores que el promedio del potencial del híbrido, especialmente para MFm, que puede alcanzar 200 g. La obtención de frutos más grandes fue limitada por la alta densidad poblacional (Streck, Buriol y Schneider, 1996) y el espacio reducido entre líneas (Wamser et al., 2009), factores de manejo de cultivo que elevan la productividad en detrimento del tamaño de los frutos. El aumento de la productividad con el manejo CE en el nivel de 3.2 dS/m fue aproximadamente de 20.5% en comparación con el manejo CI, pero este incremento no estuvo relacionado con el estado de nutrición de las plantas, ya que los contenidos de nutrientes en las hojas fueron generalmente más altos en el manejo CI y estuvieron dentro del rango de adecuado para ambos tratamientos.

Es posible que el mayor aporte final de nutrientes en el manejo CI, especialmente en el nivel inicial de 3.2 dS/m (Tabla 1) incrementó la conductividad eléctrica de la solución del sustrato, perjudicando la producción de frutos (Eloi et al., 2011). Según los datos del Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) la productividad promedio del tomate a nivel nacional es 6.86 kg/m².

El aumento en el nivel de CE de 1.6 para 3.2 dS/m redujo la longitud de los frutos en 2.5% (Tabla 3). Dorais, Papadopoulos y Gosselin (2001) encontraron que altas concentraciones de solución nutritiva pueden afectar negativamente el tamaño de los frutos de tomate, lo que también fue observado por Freire et al. (2010) para el híbrido Paronset. De acuerdo con Schossler et al. (2012) el aumento de la CE puede dificultar la absorción del agua por las raíces, debido a la reducción del potencial osmótico e hídrico del sustrato. A su vez, el alargamiento celular depende de la turgencia de la célula y de la absorción de agua por la planta (Taiz y Zeiger, 2013), lo que explica la reducción en el largo del fruto.

La menor cantidad de SST se encontró con el manejo de CE en nivel de 1.6 dS/m (Tabla 3), coincidiendo con el manejo de menor cantidad de nutrientes aplicados (Tabla 1). Andriolo et al. (2009) y Portela, Peil y Rombaldi (2012) encontraron un comportamiento similar en

frutos de fresa. Además de la menor aplicación de nutrientes, el manejo de CE con nivel 1.6 dS/m también coincidió con el menor contenido de K en la hoja índice (Tabla 2). El potasio tiene un papel importante en el transporte de foto-asimilados desde los órganos fuente (hojas) hasta el fruto (Marschner, 2012), lo que afecta el contenido de carbohidratos en los frutos, principal componente de SST. No obstante, el menor valor de SST está dentro del rango encontrado comúnmente para tomate (Azodanlou et al., 2003).

Conclusiones

El estado de nutrición y la producción de tomate fueron afectados por la composición de la solución nutritiva cuando es manejada por parámetros del lixiviado. La medición de la CE es una técnica fácil de aplicar y de bajo costo que proporciona mejores resultados fitotécnicos cuando es utilizada como criterio para el manejo de la fertilización en sistemas protegidos de cultivo de tomate manejados con fertirrigación. El solo incremento del nivel inicial de nutrientes de 1.6 para 3.2 dS/m no presenta ventaja para el cultivo de tomate con sistemas con fertirrigación.

Tabla 3. Producción y características de fruto de tomate en solución nutritiva manejada con base en la conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones individuales de iones (CI) del lixiviado, en dos niveles iniciales de CE de la solución nutritiva.

Manejo	Nivel de CE (dS/m) Media			
	1.6	3.2	Prom.	CV (%)
MFm (g/fruto)				
CE	119.93	113.86	116.89 A	11.33
CI	106.13	105.35	105.74 B	
Prom.	113.03 a*	109.61 a		
MFt (kg/m²)				
CE	9.71 aA	10.99 aA	10.35	16.78
CI	10.29 aA	9.12 aB	9.71	
Prom.	10.00	10.06		
DT (mm)				
CE	62.6	61.9	62.3 A	4.52
CI	60.2	60.2	60.2 B	
Prom.	61.4 a	61.1 a		
CL (mm)				
CE	50.3	49.3	49.8 A	3.43
CI	49.2	47.7	48.5 B	
Prom.	49.8 a	48.5 b		
SST (°Brix)				
CE	4.23 bB	4.83 aA	4.53	9.79
CI	4.77 aA	4.71 aA	4.74	
Prom.	4.50	4.77		

MFm= masa fresca media; MFt= masa fresca total; DT= diámetro transversal; L= Longitud del fruto.

*Promedios seguidos de letras diferentes, mayúsculas en las columnas y minúsculas en las líneas, difieren por el test de 't' de Student ($P < 0.05$).

Agradecimientos

A la Universidad Estatal de Londrina, por proporcionar la estructura necesaria para el desarrollo de la investigación, y a CAPES por el apoyo económico.

Referencias

- Andriolo, J.L.; Janisch, D. I.; Schmitt, O. J.; Vaz mab, M. A.; Cardoso, F. L.; Erpen, L. 2009. Nutrient solution concentration on plant growth, fruit yield and quality of strawberry crop. *Ciência Rural*, 39(3), 684-690. <http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n3/a114cr763.pdf>
- Azodanlou, R.; Darbellay, C.; Luisier, J.L.; Villetaz, J.C.; Amadó, R. 2003. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. *LWT – Food Science and Technology*, 36 (2), 223-233. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00204-9)
- Braccini, M. C. L.; Braccini, A. L. E.; Martinez, H. E. P. 1999. Critérios para renovação ou manutenção de solução nutritiva em cultivo hidropônico. *Semina: Ciências Agrárias* 20(1), 48-58. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5044/4534>
- Camargo, A. P.; Marin, F. R.; Sentelhas, P. C.; Picini, A. G. 1999. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7(2), 251-257. [http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1999/1999_RB_Agro_7\(2\)_251-257_ETPThTefativa.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1999/1999_RB_Agro_7(2)_251-257_ETPThTefativa.pdf)
- Campbell, C. R. 2013. *Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States*. Raleigh. North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services – Agronomic Division. Southern Cooperative Series Bulletin, 394. United States. 122 p. <https://ag.tennessee.edu/spp/Documents/scsb394.pdf>
- Carrijo, O. A.; Vidal, M. C.; Reis, N. V. B.; Souza, R. B.; Makishima, N. 2004. Tomato crop production under different substrates and greenhouse models. *Horticultura Brasileira* 22(1), 5-9. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362004000100001
- Cavins, T. J.; Whipker, B. E.; Fonteno, W. C.; Harden, B.; McCall, I.; Gibson, J. L. 2008. PourThru: a monitoring nutrition in the greenhouse. *Acta Horticulture*, 779, 289 – 297p. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.35>
- Dorais, M.; Papadopoulos, A.; Gosselin, A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21(4), 367-383. <https://doi.org/10.1051/agro:2001130>
- Eloi, W. M.; Duarte, S. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. de F.; Miranda, J. H. 2011. Commercial yield of tomato in response to salinization caused by fertigation under greenhouse conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 155(5), 471-476. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500006>
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPIS. 212p. https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/l+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf
- Fernandes, C.; Corá, J. E.; Braz, L. T. 2006. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. *Horticultura Brasileira*, 24(1), 42-46. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v24n1/a09v24n1>
- Folegatti, M. V. 1999. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Gaíba. Agropecuária. Editorial ESALQ. Brasil. 460p. <https://repositorio.usp.br/item/001055692>
- Fontes, P. C. R.; Loures, J. L.; Galvão, J. C.; Cardoso, A. A.; Mantovani, E. C. 2004. Produção e qualidade do tomate produzido em substrato, no campo e em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 614-619. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v22n3/a23v22n3.pdf>
- França, A. F.; Haag, H. P.; Dechen, A. R. 1987. Nutrição mineral de gramíneas tropicais VI. Níveis de cálcio afetando a composição de micronutrientes no Milheto forrageiro (*Pennisetum americanum*). *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, 44, 1419-1443. <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v44n2/28.pdf>
- Freire, A. L. O.; Saraiva, V. P.; Miranda, J. R. P.; Bruno, G. B. 2010. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(1), 1133-1144. <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744099003.pdf>
- Helbel Junior, C.; Rezende, R.; Freitas, P. S. L.; Gonçalves, A. C. A.; Frizzone, J. A. 2008. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(4), 1142-1147. <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n4/a16v32n4.pdf>
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. 2019. Indicadores IBGE - Levantamento sistemático da produção agrícola: Estatística da produção agrícola. Maio 2019. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e>
- Makishima, N.; Carrijo, O. A. 1998. Cultivo protegido do tomateiro. Circular técnica da Embrapa Hortaliças 13. Brasília: EMBRAPA-CNPIS. Brasil. 18 p. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/765429>

Malavolta, E.; Moraes, M. F. 2007. *Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas*. pp 189-249 In: Yamada, T.; Abdalla, S. R. S.; Vitti, G. C. *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Editorial IPNI. Piracicaba, Brasil. 722 p. <https://www.editoraufv.com.br/produto/nitrogenio-e-enxofre-na-agricultura-brasileira/1112609>

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. 319p. <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/1997/01/avaliacao-do-estado-nutricional-das-plantas-principios-e-aplicacoes/>

Marschner, P. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3 ed. Academic press. 672p. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>

Medeiros, P. R. F.; Duarte, S. N.; Uyeda, C. A.; Silva, E. F. F.; Medeiros, J. F. 2012. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 16(1), 51-55. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100007>

Portela, I. P.; Peil, R. M. N.; Rombaldi, C. V. 2012. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. *Horticultura Brasileira*. 30(2), 266-273. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v30n2/v30n2a14.pdf>

Schossler, T. R.; Machado, D. M.; Zuffo, A. M.; Andrade, F.R.; Piauilino, A. C. 2012. Salinidade:

efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia Biosfera*, 8(15), 1563-1578. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/salinidade%20efeitos.pdf>

Silva, F. C. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, Brasil. 627p. <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/biblioteca=vazio&busca=autoria:%22SILVA,%20F.C.%20da%22&qFacets=autoria:%22SILVA,%20F.C.%20da%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>

Streck, N. A.; Buriol, G. A.; Schneider, F. M. 1996. Efeito da densidade de plantas sobre a produtividade do tomateiro cultivado em estufa de plástico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31, 105-112. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44893/1/INFLUENCIA-DA-DENSIDADE-DE-PLANTAS.pdf>

Taiz, L.; Zeiger E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artmed. 184 p.

Torres, A. P.; Mickelbart, M. V.; Lopez, R. G. 2010. Leachate volume effects on pH and electrical conductivity measurements in containers obtained using pour-through method. *HortTechnology*, 20(3), 608-611. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.3.608>

Wamser, A. F.; Mueller, S.; Becker, W. F.; Santos, J. P.; Suzuki, A. 2009. Espaçamento entre plantas e cachos por haste no tutoramento vertical do tomateiro. *Horticultura Brasileira*, 27(4), 565-570. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v27n4/27.pdf>