

Dinámica de macronutrientes en plantas de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc., Solanales: Solanaceae) bajo condiciones protegidas

Macronutrient dynamics in cuatomate plants (*Solanum glaucescens* Zucc., Solanales: Solanaceae) under protected conditions

Cuauhtémoc Josué Hernández-Rojas¹ , Luis Adolfo Zepeda-Casillas² ,
Juventino Ocampo-Mendoza² , Engelberto Sandoval-Castro² , Javier Cruz-Hernández^{2*} 

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Boulevard Forjadores de Puebla 205, Santiago Momoxpan, 72760, San Pedro Cholula, Puebla, México.

*Autor para correspondencia: javiercruz@colpos.mx

RESUMEN

Fecha de recepción:
23 de junio de 2021

Fecha de aceptación:
17 de noviembre de 2022

Disponible en línea:
9 de febrero de 2023

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.

El cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) es una hortaliza en proceso de domesticación en la que no se han realizado estudios de extracción nutricional. El objetivo fue determinar la dinámica de extracción de macronutrientes de plantas de cuatomate en hidroponía. Se evaluaron las concentraciones 25, 50, 75 y 100 por ciento de solución universal Steiner, en un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, durante 180 días después del trasplante (ddt). Se efectuaron seis muestreos de material vegetal para observar la extracción de N, P, K, Ca y Mg. Se hizo un análisis de varianza, prueba de medias Tukey y una regresión no lineal con un modelo logístico. La extracción resultó en el orden N>Ca>K>Mg>P, con una dinámica ascendente en N y K durante los 180 ddt. En P, Ca y Mg, la extracción se relacionó con la concentración evaluada, el tiempo de muestreo y las interacciones en la absorción entre los nutrientes.

PALABRAS CLAVE

Extracción; nutrientes; hidroponía; solución nutritiva; solanácea espinosa

ABSTRACT

The cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) is a vegetable in the process of domestication in which nutrient extraction studies have not been carried out. The objective was to determine the macronutrient extraction dynamics of cuatomate plants in hydroponics. The concentrations 25, 50, 75 and 100% of universal Steiner solution were evaluated in a completely randomized design, with four treatments and three replicates, during 180 days after transplanting (ddt). Six samples of plant material were taken to observe the extraction of N, P, K, Ca and Mg. An analysis of variance, Tukey mean test and a non-linear regression with a logistic model were performed. Extraction resulted in the order N>Ca>K>Mg>P, with an upward dynamic in N and K during the 180 ddt. For P, Ca and Mg, extraction was related to the concentration evaluated, the sampling time and the interactions in the absorption between the nutrients.

KEYWORDS

Extraction, nutrients, hydroponic, nutritive solution, spiny solanacea



Reconocimiento-
NoComercia-
CompartirIgual 4.0
Internacional

Debido a la relevancia que representa la actividad hortofrutícola comercial para los productores mexicanos (Sánchez et al. 2019), en los últimos años, la tecnología en este sector se ha centrado principalmente en: la necesidad del uso eficiente del agua (Martínez et al. 2012); el incremento de los rendimientos mediante la respuesta a la fertilización (Fageria et al. 2011; Antil y Raj 2020; Ansari et al. 2020); la introducción de especies exóticas o “alternativas”, y el mejoramiento genético; en cambio, son escasos los estudios que se han realizado en el aprovechamiento de especies nativas domesticadas o en proceso de domesticación utilizadas para la alimentación en zonas rurales (Martínez-Pérez et al. 2012).

En el tema de la fertilización de cultivos, para entender la dinámica nutrimental de las plantas y generar recomendaciones en cada especie en particular, es necesaria la obtención de la curva de absorción nutrimental, que describa la extracción de cada uno de los nutrientes durante un periodo determinado o durante el ciclo de cultivo (Bertsch 2003; Barríos et al. 2007; Thornley y France 2007; Salazar-Jara y Juárez-López 2013). Sin embargo, aún existen especies hortofrutícolas nativas con amplio potencial, con las que se han llevado a cabo escasos o nulos estudios sobre fertilización, conservación y desarrollo del cultivo; tal es el caso del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.), en el estado de Puebla, México (SDR 2007; Gutiérrez-Rangel et al. 2011; Martínez-Pérez et al. 2012).

El cuatomate es una hortaliza perteneciente a la familia de las solanáceas, que crece de forma silvestre y semicultivada en traspatios en la región de la Mixteca baja poblana (Gutiérrez-Rangel et al. 2011; Hernández-Rojas et al. 2020). Es una especie que prospera generalmente en terrenos de ladera o barrancas, en suelos sin horizontes desarrollados, con escasa retención de humedad, muy pedregosos y de moderada fertilidad (Guízar et al. 2010), en climas secos o de escasa precipitación. El fruto de esta especie es consumido en forma de salsas o purés, en diferentes platillos típicos, y actualmente existe una baja producción de este cultivo que no satisface el mercado regional, debido a que presenta una cosecha estacional que se concentra sólo en la época de lluvias (Gutiérrez-Rangel et al. 2011).

La Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Puebla menciona que existe una necesidad tecnológica para la fertilización de esta especie que aún no se ha cu-

bierto (SDR 2007). El cultivo del cuatomate puede ser manejado bajo condiciones favorables y mediante diferentes prácticas agrícolas, donde exprese su máximo potencial de rendimiento; la fertilización bajo condiciones de malla sombra e hidroponía es una de estas prácticas con las cuales se puede incrementar el rendimiento y la producción del fruto de cuatomate.

Por ello, el objetivo del presente estudio fue generar información sobre la dinámica de extracción de macronutrientes del cuatomate cultivado en condiciones de malla sombra e hidroponía.

La presente investigación se llevó a cabo en la Unidad Académica Atlixco, perteneciente al Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, ubicado a 18° 53' Latitud Norte y 98° 26' Latitud Oeste, a una altitud de 1,824 msnm, con un clima templado subhúmedo, temperatura promedio de 18.6 °C y una precipitación anual de 1,278 mm (INEGI 2010). El experimento fue desarrollado en casa sombra con malla de monofilamento a 70 por ciento de sombreo en una superficie 300 m², en un sistema hidropónico abierto, con tezontle rojo como sustrato, con partículas homogéneas de 0.5 cm de diámetro, durante un periodo de 180 días.

Para el experimento se usaron plantas de cuatomate propagadas por semilla, de 25 cm de altura promedio, con cantidades entre 10 y 12 hojas verdaderas, después de 40 días de crecimiento en charolas de unicel de 200 cavidades y en sustrato Kekkila professional®.

El experimento se desarrolló durante 180 días, en los que se aplicaron los tratamientos a base de 25, 50, 75 y 100 por ciento de una solución nutritiva Steiner (1961) (concentración total de solutos de 30 mole ion. m³, potencial osmótico de -0.072 Mpa, y pH de 5.0-5.5), para el suministro de nutrimentos a las plantas de cuatomate. Se aplicó un total de cuatro tratamientos bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental estuvo constituida por una planta colocada en bolsa de polietileno negro calibre 600, con 10 L de tezontle como sustrato. Para estimar la dinámica de extracción de macronutrientes, durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos destructivos de plantas.

Se efectuó un total de seis muestreos, a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 días después del trasplante (ddt), de manera que se tuvieron tres repeticiones por tratamiento con 12 plantas por muestreo, y un total de 72 plantas muestreadas en todo el experimento. Las

plantas muestreadas por tratamiento y repetición fueron secadas a una temperatura de 60° C, durante 48 h, en una estufa con circulación de aire marca Felisa®, modelo, FE-243 (Felígeno S.A. de C.V., Jalisco, México).

Una vez secas, las plantas se cortaron en partes pequeñas, y se procedió a triturarlas en un molino eléctrico marca Wiley Mill Thomas®, T4724CE (ThomasScientific, Nueva Jersey, Estados Unidos), a un tamaño de partícula menor a 0.2 mm para su posterior análisis en laboratorio.

En las muestras preparadas se realizó un análisis del contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. El análisis de N se efectuó por medio del método de digestión Kjeldahl (Stevens et al. 2000). Para estimar el contenido de P, K, Ca y Mg, se utilizó el método de espectrofotometría de inducción de plasma acoplado (Alcántar y Sandoval 1999), en extractos obtenidos después de la digestión ácida y filtrado, con el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-OES Varian® modelo 725-ES (VMSystems Inc., California, Estados Unidos). El contenido de cada nutrimento fue expresado como nutrimento extraído, en mg de materia seca por planta (mg-planta⁻¹).

A las variables obtenidas de extracción nutricional se les aplicó una regresión no lineal con el modelo logístico, con la ecuación $y=A/(1+Be^{-Cx})$, donde: y es la variable respuesta; A , el máximo valor observado; B no tiene significado biológico y sólo toma lugar en el tiempo inicial, cuando $x = 0$; $x =$ días después del trasplante; C : es el parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión; e , la constante mate-

mática, base del logaritmo natural igual a 2.718281828 (Rodríguez et al. 2006).

Para estimar el efecto de los tratamientos evaluados, con los datos obtenidos se llevó a cabo un análisis de varianza (ANAVA), y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), con el *software* Sistema de Análisis Estadístico (SAS), versión 9.1 para Windows (SAS Institute 2002); adicionalmente, con el modelo logístico, se realizó un análisis gráfico para mostrar la dinámica de cada macronutrimento extraído por el cultivo.

De acuerdo con las comparaciones de medias efectuadas para las concentraciones de soluciones nutritivas aplicadas al cultivo de cuatomate, por fecha de muestreo, se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre concentraciones a los 30, 150 y 180 ddt del cultivo. Las plantas tratadas con solución a 25 por ciento presentaron la mayor acumulación de nitrógeno en el primer muestreo, con 50 y 100 por ciento de la solución a 150 días, y para el final del cultivo las plantas tratadas con solución nutritiva a 25, 75 y 100 por ciento fueron las que presentaron mayor extracción de nitrógeno (Cuadro 1). El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas; al respecto, Castro et al. (2000) indican que el rango de N-NO₃ óptimo en el extracto celular de peciolo y tallo en tomate de cáscara está entre 1,000-1,500 mg·L⁻¹, para un buen rendimiento en este cultivo. En el presente estudio se tuvo una extracción total de nitrógeno alrededor de 2,700 y 2,990 mg-planta⁻¹.

La extracción de nitrógeno mostró un incremento más acentuado de los 60 y hasta los 180 ddt. A partir de 90 ddt, destaca la solución nutritiva a 100 por ciento por encima del resto de los tratamientos evaluados, con

Cuadro 1. Comparación de medias para la extracción de nitrógeno en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

DDT	Extracción de nitrógeno (mg-planta ⁻¹)				
	25%	50%	75%	100%	DMS
30	90.153a ^z	54.957b	61.880ab	80.417ab	32.911
60	282.80a	190.40a	292.83a	227.41a	108.96
90	781.90a	634.90a	759.23a	818.07a	292.89
120	1175.53a	1019.08a	1312.27a	1242.85a	336.35
150	1109.97b	1587.03a	1244.50b	1749.95a	244.47
180	2907.10ab	2772.39b	2890.89ab	2990.98a	196.17

DDT: Días después del trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z valores que comparten similar grupo de letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

un coeficiente de determinación alto ($r = 0.99$) (Figura 1). Enríquez-Reyes et al. (2003) mencionan la importancia de la validación de un modelo que asemeje la absorción de nitrógeno para el caso de *Solanum lycopersicum* L., pues existen variaciones en el crecimiento y demanda de nitrógeno, lo que puede darse en una baja o alta fertilización, con consecuencias en la contaminación del ambiente, además de un costo innecesario.

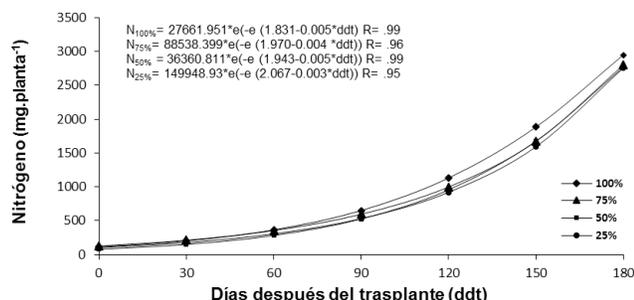


Figura 1. Extracción de nitrógeno en cuatmate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

En la extracción de fósforo únicamente se observaron diferencias significativas a los 90, 120 y 150 ddt entre las concentraciones evaluadas. Para los 90 y 120 ddt las plantas irrigadas con soluciones al 75 y 100 por ciento fueron las que presentaron mayor acumulación de fósforo; pero, a los 150 días, las plantas tratadas con solución a 75 por ciento extrajeron la menor concentración en comparación con el resto de los tratamientos, los cuales resultaron estadísticamente similares entre sí (Cuadro 2). Montoya-García et al. (2018) indican que incrementos de nitrógeno, aplicados en el cultivo de *Portulaca oleracea* L., también se relacionaron con aumentos en el contenido de fósforo; este com-

portamiento obedece a que las condiciones de balance iónico favorecen un adecuado funcionamiento del sistema de absorción y transporte de nutrimentos en la planta y pueden permitir un mejor desarrollo (Zahra et al. 2020).

En la dinámica de extracción de fósforo, se aprecia que el ajuste del modelo para el coeficiente de determinación fue mayor a 0.96 en todas las concentraciones, en la que se destaca al final del ciclo la solución a 25 por ciento, seguida de la solución a 75 por ciento (Figura 2). Pineda-Pineda et al. (2011) indican una extracción de fósforo de 714.82 mg·planta⁻¹ para un ciclo de 74 días en plantas de jitomate, en comparación con una extracción final de entre 312 y 359 mg·planta⁻¹, sin mostrar diferencias significativas a los 180 ddt, bajo las condiciones del presente estudio; estos valores representan una relación de extracción de 8.5:1 entre nitrógeno y fósforo para este cultivo. Gastelum et al. (2013) encontraron en *Physalis peruviana* L. concentraciones mayores de fósforo en las hojas en etapa vegetativa, con una mayor extracción con la solución a 100 por ciento en la etapa reproductiva.

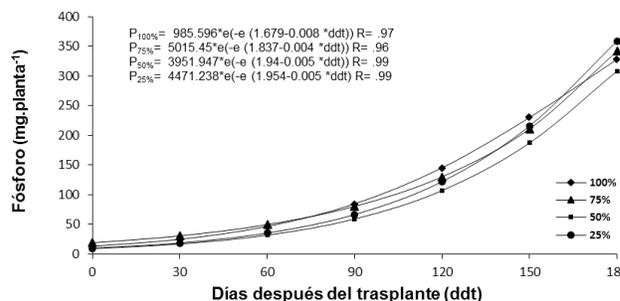


Figura 2. Extracción de fósforo en cuatmate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

Cuadro 2. Comparación de medias para la extracción de fósforo en cuatmate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

DDT	Extracción de nitrógeno (mg·planta ⁻¹)				DMS
	25%	50%	75%	100%	
30	8.1074a ^z	7.5770a	7.1136a	8.2113a	2.3444
60	26.791a	22.892a	31.598a	23.677a	15.571
90	69.314b	66.669b	99.311a	97.183a	23.251
120	139.07bc	118.56c	175.62ab	184.07a	40.31
150	201.601a	177.959ab	164.486b	190.906ab	32.318
180	359.74a	312.18a	350.29a	338.96a	54.438

DDT: Días después del trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z valores que comparten similar grupo de letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En plantas muestreadas a 30, 120, 150 y 180 ddt se observaron diferencias significativas en la extracción de potasio por efecto de las soluciones aplicadas en cuatomate. A 30 ddt la aplicación a 25 por ciento mostró mayor acumulación, seguida de la solución a 100% (Cuadro 3). A los 120 ddt las mayores extracciones se obtuvieron con las concentraciones a 75 y 100 por ciento, y de 150 a 180 ddt sólo con la solución a 100 por ciento. Sin embargo, de 120 a 180 ddt sí se presentó una reducción significativa en la extracción de K con las concentraciones menores a 50 por ciento, y a partir de 75%, sólo a los 150 ddt. Esta reducción observada en la extracción de K coincide parcialmente con lo indicado por Alvarado-Carrillo et al. (2021), quienes también observaron una menor concentración de este elemento en plantas, pero ningún efecto significativo en N, P, Ca y Mg, con disminución de 50 por ciento en la dosis de fertilización aplicada en fertiriego al cultivo de calabacita.

En la dinámica de extracción de potasio destaca la solución a 100 por ciento a partir de los 90 ddt, con un mayor incremento en comparación con el resto de las concentraciones evaluadas. Castro et al. (2000) y Alcántar y Trejo (2009) coinciden en indicar que con una mayor disponibilidad de nutrientes se presenta una mayor asimilación por la planta; asimismo, una mayor extracción de potasio en frutas y vegetales está asociada a una mejor calidad poscosecha y mayores niveles de azúcares (Castellanos y Ojodeagua 2009; Pandey y Mahiwal 2020).

En calcio únicamente se observaron diferencias significativas en el muestreo a 150 ddt. En este muestreo, la aplicación de la solución a 25 por ciento alcanzó extracciones estadísticamente similares a las

obtenidas con la solución a 100 por ciento, y ambos tratamientos resultaron superiores al resto de concentraciones evaluadas (Cuadro 4). Al final del cultivo no se observaron diferencias significativas en la extracción de calcio, pero se obtuvo un promedio de extracción de 1,097.2 mg-planta⁻¹, lo que representa una proporción de extracción N:Ca de 2.6:1. Valentín-Miguel et al. (2013) indican que en *Capsicum annuum* L. los incrementos del potencial osmótico en la solución nutritiva incrementan la absorción del calcio, y observaron que la mayor disponibilidad de calcio se tuvo con 0.072 y 0.90 MPa en la solución nutritiva.

Se aprecia que la extracción de calcio se incrementó a partir de los 90 a 120, ddt con las soluciones a 25 y 100 por ciento de concentración, pero con una reducción a los 180 ddt en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 4), con una curva que alcanzó un r = 0.98, lo cual indica que el modelo predijo la tendencia del comportamiento del Ca. Castellanos (2009) menciona que una deficiencia severa de calcio se refleja en las puntas de las raíces o en las hojas en crecimiento, las

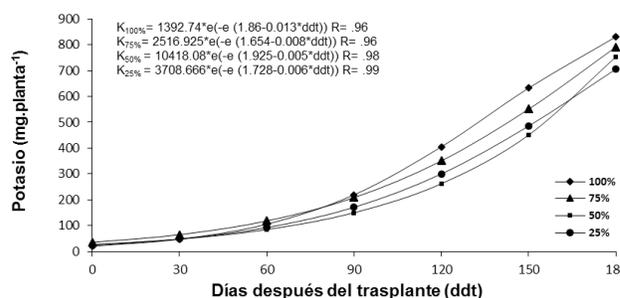


Figura 3. Extracción de potasio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

Cuadro 3. Comparación de medias para la extracción de potasio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

DDT	Extracción de nitrógeno (mg.planta ⁻¹)				DMS
	25%	50%	75%	100%	
30	26.101a ^z	14.902b	15.701b	18.043ab	8.0938
60	82.07a	56.37a	78.26a	52.49a	45.724
90	174.86a	157.73a	213.23a	207.85a	62.617
120	337.33b	332.76b	486.42a	536.85a	85.787
150	450.26b	396.70b	432.53b	506.67a	54.459
180	714.08c	760.60bc	825.19ab	875.15a	81.696

DDT: Días después del trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z valores que comparten similar grupo de letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 4. Comparación de medias para la extracción de calcio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

DDT	Extracción de nitrógeno (mg-planta ⁻¹)				
	25%	50%	75%	100%	DMS
30	44.742a ^z	45.073a	42.192a	52.724a	31.774
60	164.35a	135.70a	173.00a	150.63a	74.228
90	340.37a	311.45a	369.62a	396.28a	96.719
120	630.33a	551.57a	596.85a	717.87a	173.79
150	843.86a	705.72b	645.28b	792.31a	85.135
180	1061.58a	1150.44a	1091.93a	1084.79a	137.59

DDT: Días después del trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z valores que comparten similar grupo de letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

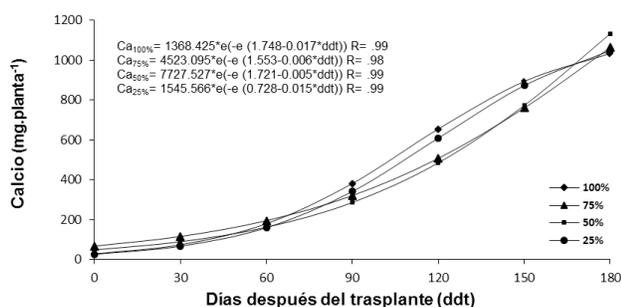


Figura 4. Extracción de calcio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

cuales se tornan deformes, café y suelen necrosarse; en ninguno de los tratamientos evaluados se presentaron síntomas de deficiencia durante el ciclo de cultivo.

De manera similar a lo observado en la extracción de nitrógeno, en el caso del magnesio, a los 30, 150 y 180 ddt se observaron diferencias estadísticas entre las concentraciones evaluadas (Cuadro 5). Sin embargo, a los 30 y 150 ddt la mayor extracción por planta se obtuvo con la solución a 25 por ciento, la cual resultó estadísticamente superior al resto de las concentraciones evaluadas; en cambio, a los 180 ddt, esta misma con-

centración alcanzó extracciones superiores, pero estadísticamente similares con las soluciones a 50 y 100 por ciento; la solución a 75 por ciento dio la menor extracción de magnesio, con valores comparables únicamente con la solución a 50 por ciento. De acuerdo con Jones et al. (1991), el contenido de magnesio de una planta es variable, con valores de suficiencia de 0.25 por ciento en la mayoría de los cultivos, pero puede variar de acuerdo con la fenología, entre 1-1.7 por ciento en etapa vegetativa intermedia y de 0.25 a 1.2 por ciento al inicio de fructificación (Piggott 1986).

En la dinámica de extracción de magnesio, de los 120 a 180 ddt resalta un incremento pronunciado superior del efecto de la solución a 25 por ciento, seguida por la solución a 100 por ciento, con un ajuste del modelo con $r = 0.98$ (Figura 5); una dinámica similar a la extracción de fósforo de 150 a 180 ddt, con niveles superiores a 25 por ciento, pero menos pronunciada y sin mostrar diferencias significativas en la extracción de P (Figura 2).

La secuencia de extracción de macronutrientes en mg-planta⁻¹ en cuatomate, bajo las condiciones de estudio

Cuadro 5. Comparación de medias para la extracción de magnesio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

DDT	Extracción de nitrógeno (mg-planta ⁻¹)				
	25%	50%	75%	100%	DMS
30	48.130a ^z	27.391b	28.405b	30.966b	12.13
60	109.59a	86.26a	106.69a	93.72a	51.95
90	182.44a	165.03a	193.39a	183.67a	59.007
120	398.30a	327.49a	353.76a	410.72a	93.457
150	628.40a	480.50b	393.59c	493.73b	67.162
180	740.32a	661.71ab	614.87b	722.95a	81.431

DDT: Días después del trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z valores que comparten similar grupo de letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

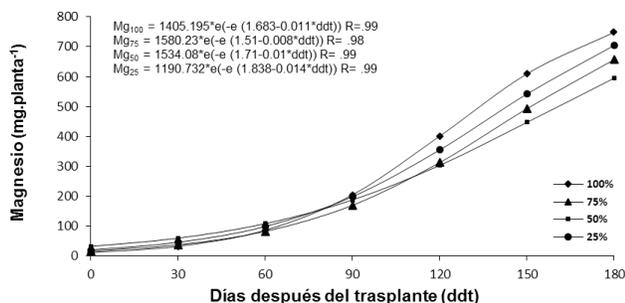


Figura 5. Extracción de magnesio en cuatomate (*Solanum glaucescens*) cultivado bajo malla sombra e hidroponía.

y a los 180 ddt, en promedio, resultó en el orden siguiente: N(2,890.3)>Ca(1,097.2)>K(793.7)>Mg(684.95)>P(340.3), con una proporción de extracción de N respecto al resto de nutrientes de: N:P = 8.5, N:K = 3.65, N:Ca = 2.63 y N:Mg = 4.22. Al respecto, Valentin-Miguel et al. (2013) y Sánchez et al. (2019) observaron un patrón de extracción similar, pero con mayores valores de extracción en plantas de *C. annum* e *Hibiscus sabdariffa* L., respectivamente, y que difieren únicamente en el orden de extracción de K en comparación con el presente estudio, un patrón de extracción o concentración en los tejidos de las plantas que se asocia a la biodisponibilidad de los nutrientes como lo indica Paradelo et al. (2020).

De la misma manera, se observó una relación Ca:Mg = 1.6, pero que resultó inferior a los 150 y 180 ddt, lo que indica una mayor extracción de Mg con la solución de 25 por ciento, y que pudo influir en la extracción del Ca a 25 y 100 por ciento de concentración al final del estudio, como se aprecia en la Figura 4. Esta situación es similar a la observada en la dinámica de la extracción de fósforo, pero sin diferencias significativas (Figura 2), comportamiento que puede estar asociado a las sales de los fertilizantes, que, al estar en contacto con otras partículas de igual naturaleza, pueden reaccionar químicamente formando compuestos insolubles que modifican la disponibilidad de los nutrientes en la solución, pero es difícil generalizar sobre la óptima combinación para dar una debida concentración de nutrientes (Trejo et al. 2008).

La dinámica de extracción de N y K resultó ascendente en todas las concentraciones evaluadas durante el periodo de estudio, similar a la indicada por Valentin-Miguel et al. (2013).

La fluctuación de la extracción observada en el tiempo de estudio puede estar asociada, además, con

el tipo de nutriente, con la fase fenológica del cultivo (Sánchez et al. 2019) o edad de la planta (Salazar-Jara y Juárez-López 2013). Por otra parte, Pérez y Castro (2010) indican que un aspecto importante a tomar en cuenta es el sombreado para el cultivo de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav bajo condiciones protegidas, ya que un exceso de sombra (mayores a 50%) causa que las hojas inferiores del tallo de la planta se tornen amarillentas y se conviertan en puntos de demanda en lugar de fuente de fotoasimilados.

El patrón promedio de extracción de macronutrientes en plantas de cuatomate a los 180 ddt en hidroponía y bajo malla sombra, resultó en el orden siguiente N>Ca>K>Mg>P, sin mostrar diferencias en la extracción de P y Ca con las cuatro concentraciones de la solución Steiner, pero, dependiendo de la concentración aplicada, sí se redujo de manera significativa la extracción de N, K y Mg al final del estudio.

La dinámica de extracción del P, Ca y Mg se relaciona con el tiempo de muestreo y con las interacciones en la absorción y extracción de los nutrientes, particularmente en el Mg con 25 por ciento de la solución Steiner. En N y K la dinámica de extracción resultó ascendente en todas las concentraciones evaluadas durante el desarrollo del cultivo.

Los resultados del estudio son de utilidad para iniciar un plan de fertilización en el cultivo de cuatomate.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la aportación económica para la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Alcántar GG, Sandoval VM. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México.
- Alcántar GG, Trejo TLI. 2009. Nutrición de cultivos. Editorial Mundi-Prensa. Distrito Federal, México.
- Alvarado-Camarillo D, Valdez-Aguilar LA, Cepeda-Dovala JM, Rubí-Arriaga M, Pineda-Pineda J. 2021. Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita. Acta

- Agrícola y Pecuaria 7: 1-7. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071001>
- Ansari M, Shahzadi K, Ahmed S. 2020. Nanotechnology: A breakthrough in agronomy. En: Sumera J, editor. Nanoagronomy. Cham, Springer Nature. P. 1-23. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41275-3_1
- Berrios UME, Arredondo BC, Tjalling HH. 2007. Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidades pimiento. SQM. Jalisco, México.
- Bertsch F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Castellanos RJZ. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Celaya, México.
- Castellanos RJZ, Ojodeagua JL. 2009. Formulación de la solución nutritiva. En: Castellanos RJZ, editor. Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. P. 131-156.
- Castro-Brindis R, Sánchez-García P, Peña-Lomelí A, Alcántar-González G, Baca-Castillo G, López-Romero RM. 2000. Nitratos en el extracto celular de pecíolos y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 6: 33-38. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.01.013>
- Enríquez-Reyes SA, Alcántar-González G, Castellanos-Ramos JZ, Arjona E, González-Eguiarte D, Lazcano-Ferrat I. 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (NUMAC): Nutrición con N para tomate en invernadero 3. Evaluación del modelo. Terra 21: 185-193.
- Fageria NK, Baligar VC, Jones CA. 2011. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos.
- Fantil RS, Raj D. 2020. Integrated nutrient management for sustainable crop production and improving soil health. En: Meena RS, editor. Dynamics for Sustainable Crop Production. Singapur, Springer Nature. P. 67-102. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_3
- Gastelum ODA, Sandoval M, Trejo LC, Castro BR. 2013. Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. Revista Chapingo Serie Horticultura 19: 197-210.
- Guízar NE, Granados SD, Castañeda MA. 2010. Flora y vegetación en la porción sur de la Mixteca Poblana. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Ambiente 16: 95-118.
- Gutiérrez-Rangel N, Medina-Galicia A, Ocampo-Fletes I, Antonio-López P, Pedraza-Santos ME. 2011. Conocimiento tradicional del "cuatomate" (*Solanum glaucescens* Zucc) en la Mixteca Baja Poblana, México. Agricultura Sociedad y Desarrollo 8: 407-420.
- Hernández-Rojas CJ, Sandoval-Castro E, Ocampo-Mendoza J, Casillas-Zepeda A. 2020. Caracterización de frutos de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en el sistema de traspatio de la Mixteca Poblana. Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional 30: 2-23. <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.830>
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2010. Conjunto de datos geográficos de las cartas de climas, precipitación total anual y temperatura media anual 1:1 000 000, serie I. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Jones JB, Wolf B, Mills HA. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Pub. Athens, Estados Unidos.
- Martínez-Pérez A, Antonio P, Gil-Muñoz A, Cuevas-Sánchez JA. 2012. Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la Mixteca Poblana, México. Acta Botánica Mexicana 98: 73-98.
- Martínez-Ruiz A, López-Cruz IL, Ruiz-García A, Ramírez-Arias A. 2012. Calibración y validación de un modelo de transpiración para gestión de riegos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4: 757-766.
- Montoya-García CO, Volke-Haller VH, Trinidad-Santos A, Villanueva-Verduzco C. 2018. Concentración nutricional de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en respuesta a la fertilización con NPK. Agrociencia 52: 241-254.
- Pandey GK, Mahiwal S. 2020. Role of Potassium in Plants. Springer Nature. Cham, Suiza. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45953-6_1
- Paradelo R, Villada A, Barral MaT. 2020. Heavy metal uptake of lettuce and ryegrass from urban waste composts. International Journal of Environmental Research and Public Health 17: 2887. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082887>
- Pérez M, Castro BR. 2010. El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Piggott TJ. 1986. Vegetable crops. En: Reuter DJ, Robinson JB, editores. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. Melbourne, Inkata Press. P. 147-187.
- Pineda-Pineda J, Ramírez-Arias A, Sánchez del CF, Castillo-González AM, Valdez-Aguilar LA, Vargas-Canales JM. 2011. Extraction and nutrient efficiency during the vegetative growth of tomato under hydroponics conditions. *Acta Horticulturae* 893: 997-1006. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.893.112>
- Rodríguez PJE, Sahuagún CR, Gasca P, Mora AR. 2006. Programa de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52^{da} Reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. San Juan, Puerto Rico.
- Salazar-Jara FI, Juárez-López P. 2013. Requerimientos macronutritional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista BioCiencias* 2: 27-34. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.04>
- Sánchez-Gómez C, Caamal-Cauich I, Del Valle-Sánchez M. 2019. Exportación hortofrutícola de México hacia los Estados Unidos de América. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* 23: 1-20. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.766>
- Sánchez-Prado JJ, Bugarín-Montoya R, Alejo-Santiago G, Juárez-Rosete CR, Aburto-González CA, Caro-Velarde F. 2019. Incremento del rendimiento y extracción nutricional en jamaica mediante soluciones nutritivas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1838>
- SAS Institute. 2002. *SAS/STAT User's Guide, Statistics Version, 9.1 ed.* SAS Institute. Cary, Estados Unidos.
- [SDR] Secretaría de Desarrollo Rural. 2007. *Cadenas productivas agropecuarias y acuícolas del estado de Puebla. Cultivos del estado de Puebla.* Secretaría de Desarrollo Rural. México.
- Steiner AA. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired compositions. *Plant and Soil* 15: 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Stevens WB, Mulvaney RL, Khan SA, Hoefl RG. 2000. Improved diffusion methods for nitrogen and ¹⁵nitrogen analysis of Kjeldahl digests. *Journal of AOAC International* 83: 1039-1046.
- Thornley JHM, France J. 2007. *Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Sciences.* CAB International. Oxon, Reino Unido.
- Trejo TLI, Rodríguez MMN, Fernández LF. 2008. *Nutrición de cultivos, manual.* Ediciones Papiro Omega. Morelia, México.
- Valentín-Miguel MC, Castro-Brindis R, Rodríguez-Pérez JE, Pérez-Grajales M. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 71-78.
- Zahra Z, Arshad M, Ali MA, Farooqi MUF, Choi HK. 2020. Phosphorus phytoavailability upon nanoparticle application. En: Hayat S, Hayat S, Pichtel J, Faizan M, Fariduddin Q, editores. *Sustainable Agriculture Reviews* 41. Nanotechnology for Plant Growth and Development. Cham, Springer Nature. P. 41-61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33996-8_2