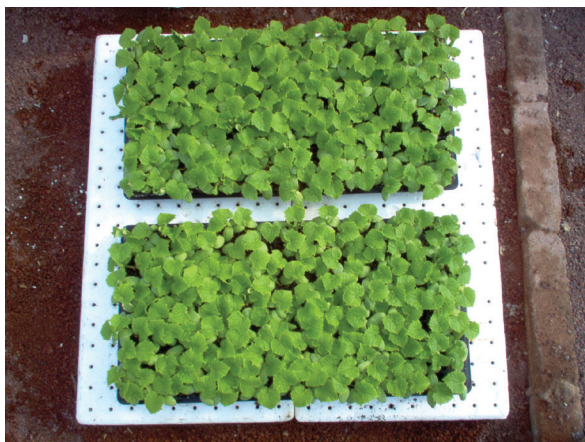


Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Uptake of Fe, Mn, Zn, Cu, and B in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop



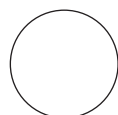
FERNANDO VICENTE BARRAZA^{1, 2}

Plántulas de pepino con primera hoja.

Foto: F.V. Barraza

RESUMEN

El cultivo de pepino, aumenta la acumulación de materia seca y rendimiento cuando se le suministran macro nutrientes y micro nutrientes en cantidades adecuadas de acuerdo con su extracción nutricional. Para el caso de micro nutrientes, no se cuenta con información exacta sobre las cantidades extraídas por el cultivo cuando se siembra en sistema hidropónico con soluciones nutritivas, lo que puede conducir a aplicaciones excesivas o a deficiencias nutricionales. Por lo anterior, se hizo una investigación en la Universidad Autónoma Chapingo, México, en condiciones de invernadero y cultivo hidropónico con diseño experimental de bloques al azar y cuatro tratamientos de concentración de la solución nutritiva universal de Steiner 25, 75, 125 y 175%, con el objetivo de determinar el rendimiento, la cantidad de micro nutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y B extraídos por la parte aérea del cultivo y la tasa absoluta de extracción. De acuerdo con los resultados obtenidos, el rendimiento alcanzó 8,20 kg/planta con la solución nutritiva 175%, mientras las concentraciones 25, 75 y 125% correspondieron a un rendimiento del 40, 78 y 85%, respectivamente, de la solución 175%. El cultivo de 1 t de frutos extrajo 41,74; 34,90; 12,01; 40,84 y 36,91 g de Fe, Cu, Zn, Mn y B, respectivamente.



Palabras clave adicionales: nutrición de plantas; micronutrientes; cultivo sin suelo; hortalizas; Cucurbitaceae.

ABSTRACT

Cucumber cultivation increases dry matter accumulation and yield when macronutrients and micronutrients are provided at levels that meet their nutritional extraction. In the case of micronutrients, there is no

¹ Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Montería (Colombia). ORCID Barraza, F.V.: 0000-0002-3671-2865

² Autor para correspondencia. fbarraza@correo.unicordoba.edu.co

accurate information on the quantities extracted by this crop when it is sown in a hydroponic system with nutrient solutions, which can lead to excessive applications or nutritional deficiencies. Therefore, this study was conducted at the Universidad Autónoma Chapingo, México, under greenhouse conditions with hydroponic cultivation using a random block experiment design and four treatments consisting of different concentrations of the universal nutrient solution of Steiner: 25, 75, 125 and 175%, in order to determine the yield, the amounts of Fe, Cu, Zn, Mn and B extracted by the aerial part of the crop and the absolute extraction rate. According to the results, the yield was 8.20 kg/plant with the 175% nutrient solution, and, for the 25, 75 and 125% solutions, the yield was 40, 78 and 85%, respectively, of the yield obtained with the 175% solution. For the production of 1 t of fruits, the crop extracted 41.74, 34.90, 12.01, 40.84 and 36.91 g of Fe, Cu, Zn, Mn and B, respectively.

Additional key words: plant nutrition; trace elements; soilless culture; vegetables; Cucurbitaceae.

Fecha de recepción: 22-05-2018 Aprobado para publicación: 30-11-2018

INTRODUCCIÓN

El pepino, se encuentra dentro de las hortalizas más importantes de la familia de las cucurbitáceas (Eifediyi y Remison, 2010). Su mayor productor es China con 54.315.900 t (Burton, 2017). Requiere suelos fértiles y se ha encontrado significativa respuesta del crecimiento, rendimiento y sus componentes, cuando se aumenta sistemáticamente la cantidad de nutrientes aplicados (Nwofia *et al.*, 2015).

Con el creciente aumento de la población mundial los terrenos que se destinan a la agricultura son escasos y se presentan efectos adversos para producción de cultivos, ya que principalmente la incorporación de metales pesados procedentes de fertilizantes, pesticidas y actividades industriales ha contribuido a la contaminación y afectan la calidad y seguridad de los alimentos (Savvas *et al.* 2013). Para el caso de pepino, se presenta la necesidad de mejorar los sistemas de producción, en lo que respecta a la nutrición mineral, lo que ha traído como consecuencia la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos en grandes cantidades, ya que cuando se realiza el cultivo en suelos infértiles se presenta bajo rendimiento y frutos amargos y deformes, que son rechazados por los consumidores en el mercado (Eifediyi y Remison, 2010; Nwofia *et al.*, 2015).

Debido a lo anterior, se ha intensificado la producción de pepino en sistemas de agricultura protegida, en donde se utilizan invernaderos, genotipos híbridos de alto rendimiento, sistemas hidropónicos y numerosas soluciones nutritivas de diferente composición química para el suministro de nutrientes,

en el caso de México por ejemplo, esta tecnología es importante ya que es el noveno productor mundial de pepinos y pepinillos para el 2017 (FAOSTAT, 2018).

Dentro de las principales ventajas del cultivo de pepino con sistemas hidropónicos es la disminución de los costos de producción y la contaminación de los recursos naturales generados por residuos de fertilizantes. Sin embargo, de acuerdo con Tzerakis *et al.* (2013), la aplicación de soluciones nutritivas sin conocer sus necesidades nutrimentales pueden ocasionar entradas excesivas o deficitarias de macro nutrientes y micro nutrientes, con lo que se afecta considerablemente el rendimiento y calidad.

De acuerdo con Dominy y Bertling (2004) una línea de estudio que se encuentra en desarrollo para el cultivo de pepino es la extracción de micro nutrientes y el papel que desempeñan en la planta, ya que según indican Tzerakis *et al.* (2013), se ha encontrado que las deficiencias y excesos de micro nutrientes, no son perceptibles por los productores hasta que se presentan síntomas externos. Hasta el momento, se le habría restado importancia a la cuantificación de la extracción de micro nutrientes de este cultivo, debido principalmente, a que los fertilizantes de macro nutrientes utilizados contienen micro nutrientes adicionados durante el proceso de manufactura o dichos elementos minerales, se presentan como impurezas y pueden tener una contribución significativa para el suministro del cultivo según como lo indican Moreno *et al.* (2003).

Los micro nutrientes son requeridos por el cultivo en pequeñas cantidades y en concordancia con Küçükyumuk *et al.* (2014) cumplen funciones importantes en el desempeño fisiológico y metabólico de la planta de pepino y, además, tienen efecto tóxico directo sobre los patógenos y aumentan la rigidez de la pared celular y la integridad de la membrana celular, con lo que se disminuyen las enfermedades en el cultivo.

Para el caso de Fe Vigani *et al.* (2017) señalan que interviene de manera crucial en la actividad enzimática del metabolismo de la planta; en lo que respecta a Cu, Alaoui-Sossé *et al.* (2004) y Rouphael *et al.* (2008) manifiestan que juega un papel importante en la fotosíntesis, respiración, transporte de electrones en cloroplastos y mitocondrias y es cofactor de varias enzimas, como superóxido dismutasa y citocromo c oxidasa; en cuanto a Zn, Küçükyumuk *et al.* (2014) indican que estabiliza las membranas celulares de las raíces, para aumentar la tolerancia a las infecciones del suelo y desintoxica a la planta de radicales de oxígeno y peróxido de hidrógeno, cuando se da la interacción con los patógenos; respecto a Mn, Maksimović *et al.* (2016) concluyen que es esencial para el crecimiento y numerosos procesos fisiológicos importantes y de acuerdo con Tabaldi *et al.* (2007) puede actuar como cofactor de varias enzimas como anhidrasas, deshidrogenasas, oxidasas, peroxidasas y juega un papel importante en la fotosíntesis y la regulación del metabolismo del N, y según Dordas (2008) ayuda a controlar enfermedades en el cultivo, ya que tiene un papel importante en la biosíntesis de lignina; el B, en concordancia con Cikili *et al.* (2013) y Ramírez *et al.* (2017), desempeña un papel importante en el metabolismo de ácidos nucleicos, carbohidratos, proteínas, ácido indolacético y fenoles, e interviene en la lignificación de la pared celular, fijación de N, transporte de azúcares, crecimiento de raíces, respiración, germinación del grano de polen y crecimiento del tubo polínico.

Debido a que una fertilización incompleta en cultivo de pepino que no incluya el suministro de micro nutrientes, ocasiona una drástica reducción en la asimilación fotosintética del CO₂ y un severo retardo en el crecimiento del cultivo afectando el rendimiento y calidad (Klamkowski *et al.*, 2011), el objetivo de la presente investigación, fue cuantificar la cantidad de elementos minerales Fe, Cu, Zn, Mn y B, que extrae la parte aérea del cultivo, para obtener el mayor rendimiento en invernadero con aplicación de la solución

nutritiva universal de Steiner, con sistema hidropónico abierto. Dicha solución se distingue por sus relaciones mutuas entre cationes y aniones (Moreno *et al.*, 2015), y en concordancia con Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014) esta condición propicia que las plantas de pepino crezcan sin limitaciones nutricionales, ya que los nutrientes aplicados están disociados en proporciones y concentraciones que evitan precipitados y antagonismos, por lo cual está siendo ampliamente utilizada por los productores de hortalizas de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en invernadero entre febrero y junio de 2015 en la Universidad Autónoma Chapingo (México), localizada a 19°29'23"N, 98°53'37"W y altitud de 2.250 m. Las condiciones climáticas dentro del invernadero fueron: temperatura promedio diaria de 23°C, humedad relativa promedio diaria de 67% y radiación incidente máxima promedio de 12 MJ m² d⁻¹. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas y cuatro tratamientos: 25, 75, 125 y 175% de la solución nutritiva universal de Steiner, que a 100% de concentración contiene macro nutrientes (meq L⁻¹) NO₃⁻ 12; H₂PO₄⁻ 1; SO₄⁻ 7; Ca⁺⁺ 9; Mg⁺⁺ 4; K⁺ 7 y micro nutrientes (mg L⁻¹) Fe⁺⁺ 2; Cu⁺⁺ 0,02; Zn⁺⁺ 0,09; Mn⁺⁺ 0,7 y B 0,5 (Steiner, 1961).

Se utilizaron plantas del genotipo híbrido Saber® procedentes de semillas sembradas en bandejas de poliestireno expandido con sustrato Peat-Moss® (Comercializadora Hydro Environment, Tlalnepantla, México), trasplantadas a los 25 d después de la siembra, una plántula a una bolsa de polietileno color negro con 0,06 m³ de sustrato tezontle rojo. En total se utilizaron 156 plantas dispuestas a 1,5 m entre hileras y 0,30 m entre plantas en una superficie de 99 m². No se efectuaron podas y el tutorado, se hizo en espaldera con malla plástica de cuadrícula de 10 cm.

El suministro de las soluciones nutritivas, se hizo diariamente a cada planta, con sistema de riego por goteo, en sistema hidropónico abierto, sin reutilización de las soluciones nutritivas drenadas, en cantidades y momentos recomendados por Sánchez-del-Castillo y Escalante (1988), de 150 mL, distribuidos en tres riegos de 50 mL, desde el momento del trasplante hasta los 30 d; 300 mL distribuidos en tres riegos de 100 mL, desde los 31 a 60 d y 600 mL distribuidos en tres riegos de 200 mL desde los 61 hasta 135 d. Entre cada

riego transcurrió un tiempo de 4 h. Con la aplicación de la solución nutritiva universal de Steiner en sistema hidropónico abierto, según lo indicado por Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014), se obtienen ventajas importantes como el ahorro de agua y fertilizantes y menor impacto ambiental al evitar que grandes cantidades de minerales causen contaminación de suelos y aguas.

Las variables evaluadas, fueron el rendimiento total por planta, extracción de micro nutrientes por la parte aérea de la planta y tasa absoluta de extracción de micro nutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y B. El rendimiento total por planta se obtuvo en kg por planta durante la etapa de fructificación del cultivo, tomando el promedio en tres plantas seleccionadas al azar y marcadas en los tres surcos centrales de cada réplica.

Para determinar la extracción de micro nutrientes por la parte aérea de la planta, se cuantificó inicialmente el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn y B en la materia seca total, que incluyó hojas, tallos, flores y frutos, para lo cual, se hicieron muestreos cada 15 d a tres plantas tomadas al azar en las tres hileras centrales de cada repetición, que fueron secadas sin raíces a 65°C en estufa Blue-M® POM-326-F (Thermal Product Solutions, New Columbia, PA, USA), hasta obtención de peso constante y posteriormente molidas en molino Wiley Mill Thomas® ED-5. Se tomaron muestras de 100 g de materia seca, con balanza digital Sartorius 1205 MP® (Sartorius AG, Göttingen, Alemania) y se les realizó análisis de contenido en mg kg⁻¹ de Fe, Cu, Zn, Mn y B en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del programa de Edafología e Hidrociencias del Colegio de Posgraduados de Montecillo, México. Fe, Cu, Zn y Mn, se determinaron por digestión ácida y absorción atómica (Mendoza *et al.*, 2015); B se determinó por calcinación y colorimetría con azometina-H (Sadzawka *et al.*, 2004).

A partir de los datos obtenidos de contenido de micro nutrientes se calculó la extracción de micro nutrientes por la parte aérea del cultivo Fe, Cu, Zn, Mn y B de acuerdo con lo indicado por Barraza (2007) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Extracción}(mg) = \frac{(\text{materia seca, kg}) * (\text{mg kg}^{-1} \text{ del nutriente})}{1000} \quad (1)$$

A las variables rendimiento total por planta y extracción de micro nutrientes, se les hizo análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) mediante el *software* SAS 9.0 (SAS

Institute, 2008). Para conocer en primera instancia el comportamiento de los datos de extracción de micro nutrientes, se utilizó *software* Curve Expert versión 1.3 (Hyams, 2003) y de acuerdo con la información obtenida, se aplicó el procedimiento PROC NLIN regresión no lineal con *software* SAS 9.0 con el modelo logístico: $y = A / (1 + B \cdot e^{-Cx})$. A partir de los modelos obtenidos de extracción de micro nutrientes se calculó, la tasa absoluta de extracción (TAE), mediante la primera derivada del modelo logístico $y' = (A \cdot B \cdot C \cdot e^{-Cx})^2$, donde y = extracción del micro nutriente; A: máximo valor observado en la extracción del micro nutriente; B: no tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial cuando $x = 0$; x = días después de la siembra; C: parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión; e: constante matemática base del logaritmo natural = 2,718281828.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extracción de Fe, Cu, Zn, Mn y B, presentó un comportamiento gráfico sigmoide (Fig. 1), el cual se ajustó al modelo logístico, con coeficientes de determinación cercanos a la unidad (Tab. 1), lo que indica de acuerdo con Song y Qiao (2008) que dichos modelos son razonables y factibles para estimar la extracción de micro nutrientes a medida que transcurre el ciclo biológico del cultivo y de acuerdo con dichos autores el modelo logístico también tiene importancia en la representación de variables del crecimiento, rendimiento y acumulación de materia seca del cultivo.

Se observó que la extracción de micro nutrientes en todos los tratamientos desde trasplante hasta aproximadamente los 45 d fue lenta (Fig. 1), de allí en adelante siguió un periodo de aumento hasta alcanzar su valor máximo y posteriormente ocurrió un periodo de extracción constante a través del tiempo. La tasa absoluta de absorción de los micro nutrientes (Fig. 2) representó una distribución normal en forma de campana, en concordancia por lo reportado por Vieira *et al.* (2013), en donde el periodo de mayor extracción de nutrientes para los tratamientos comprendido entre los 45 y 60 d posteriores al trasplante. Lo anterior confirma los planteamientos de Sánchez-del-Castillo *et al.* (2014), en el sentido que la planta modifica el consumo de nutrientes en función del tiempo que transcurre durante su ciclo biológico, a través de las fases fenológicas que transcurren durante los procesos de crecimiento y

desarrollo, y que esto se encuentra influenciado por varios factores, entre los que están principalmente las condiciones climáticas, por lo que a partir de los resultados presentados, pueden diseñarse planes de nutrición mineral específicos de acuerdo con cada zona en particular.

Se observa en el tratamiento con solución nutritiva 175% de concentración, los mayores valores de extracción de micro nutrientes con respecto a las demás concentraciones utilizadas (Tab. 2) y se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (Tab. 3) lo que señala, según Tzerakis *et al.* (2013), que la toma de micro nutrientes por parte

del cultivo, estuvo relacionada con la concentración y composición de la solución nutritiva utilizada para cubrir sus necesidades nutrimentales.

Teniendo en cuenta la mayor extracción de micro nutrientes a medida que se aumentó la concentración de la solución nutritiva del cultivo, confirma lo mencionado por Pso y Nweke (2015), quienes indican que la aplicación de nutrientes ya sea en forma de fertilizante orgánico o mineral, es la forma más rápida y fácil de aumentar el rendimiento del cultivo de pepino por unidad de superficie, en donde se puede observar que con la concentración al 175% se obtuvo el mayor valor promedio de rendimiento (Tab. 4).

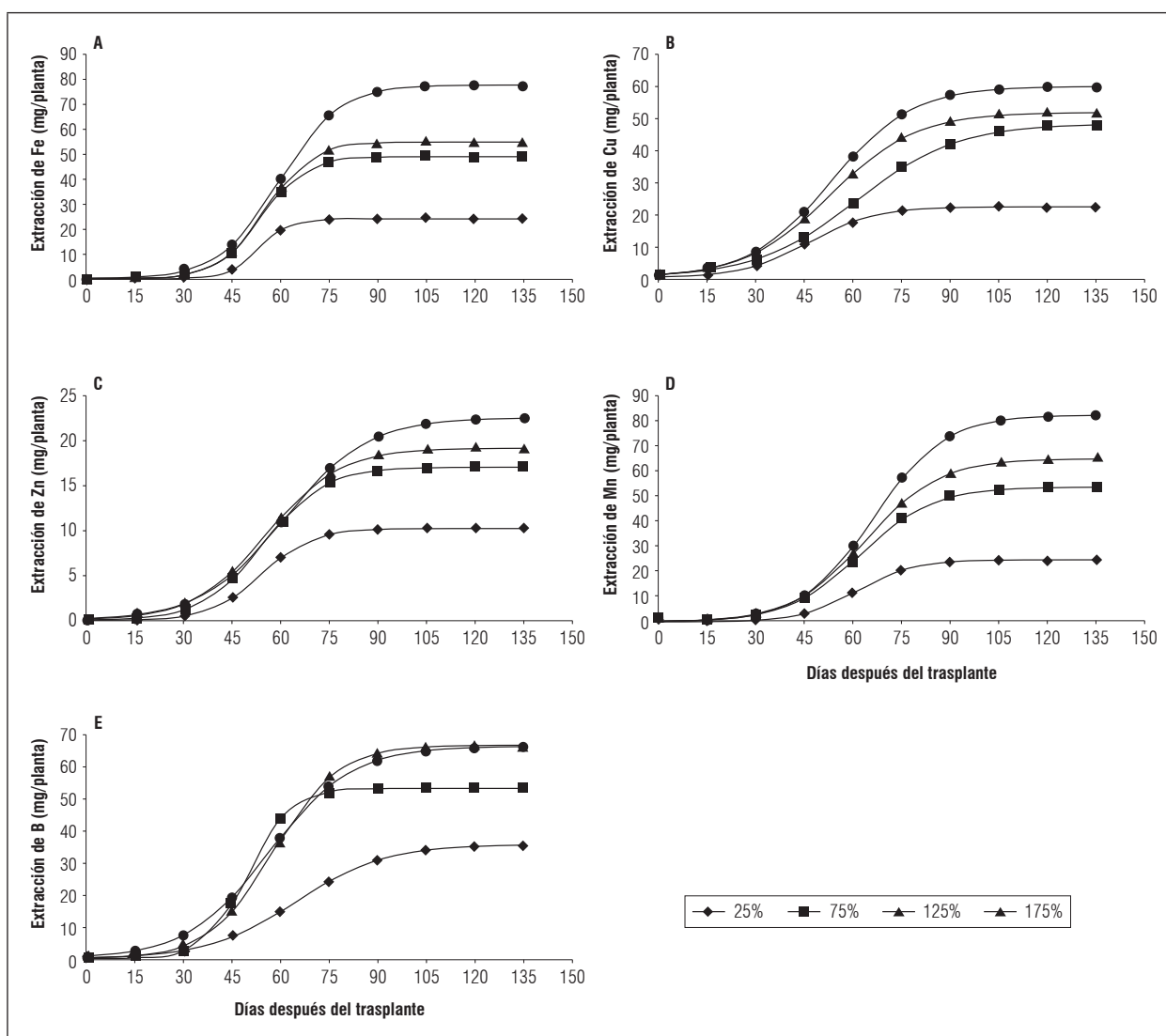


Figura 1. Extracción de micro nutrientes del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.

Tabla 1. Modelos matemáticos para estimar extracción de micro nutrientes en cultivo de pepino.

Concentración de la solución nutritiva (%)	Modelo matemático	R ² *
Fe		
25	$y = 23,8519 / (1 + 118438e^{-0,2191*d})$	0,93
75	$y = 48,7442 / (1 + 2625,6e^{-0,1459*d})$	0,96
125	$y = 54,5958 / (1 + 2413,8e^{-0,1408*d})$	0,88
175	$y = 77,4305 / (1 + 615,5e^{-0,1079*d})$	0,99
Cu		
25	$y = 22,2868 / (1 + 97,6e^{-0,0986*d})$	0,86
75	$y = 48,4607 / (1 + 51,4e^{-0,0645*d})$	0,94
125	$y = 51,9787 / (1 + 55,6e^{-0,0758*d})$	0,91
175	$y = 60,1538 / (1 + 68,9e^{-0,0797*d})$	0,99
Zn		
25	$y = 10,2553 / (1 + 892,9e^{-0,1262*d})$	0,97
75	$y = 17,1077 / (1 + 323,1e^{-0,1062*d})$	0,96
125	$y = 19,2363 / (1 + 133,3e^{-0,0883*d})$	0,95
175	$y = 22,6475 / (1 + 113,7e^{-0,0778*d})$	0,98
Mn		
25	$y = 24,6712 / (1 + 1168,9e^{-0,1157*d})$	0,93
75	$y = 53,5976 / (1 + 258,5e^{-0,0894*d})$	0,97
125	$y = 64,8411 / (1 + 268,4e^{-0,0878*d})$	0,95
175	$y = 82,2267 / (1 + 402,3e^{-0,0908*d})$	0,99
B		
25	$y = 35,5456 / (1 + 114,9e^{-0,0730*d})$	0,98
75	$y = 52,9805 / (1 + 1972,5e^{-0,1519*d})$	0,97
125	$y = 66,4433 / (1 + 314,3e^{-0,0994*d})$	0,95
175	$y = 66,1227 / (1 + 84,9e^{-0,0786*d})$	0,98

y: extracción (mg/planta); d: días después del trasplante; *: coeficiente de determinación.

Tabla 2. Comparación de medias de la extracción total de micro nutrientes en la parte aérea de cultivo de pepino.

Concentración de la solución	Extracción (mg/planta)				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
25%	17,53 c	17,47 c	8,37 c	20,61 c	20,90 c
75%	44,02 b	41,83 b	15,69 b	40,05 b	46,95 b
125%	36,64 b	38,06 b	15,39 b	51,91 b	53,130 ab
175%	76,03 a	60,18 a	21,80 a	80,50 a	67,33 a

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

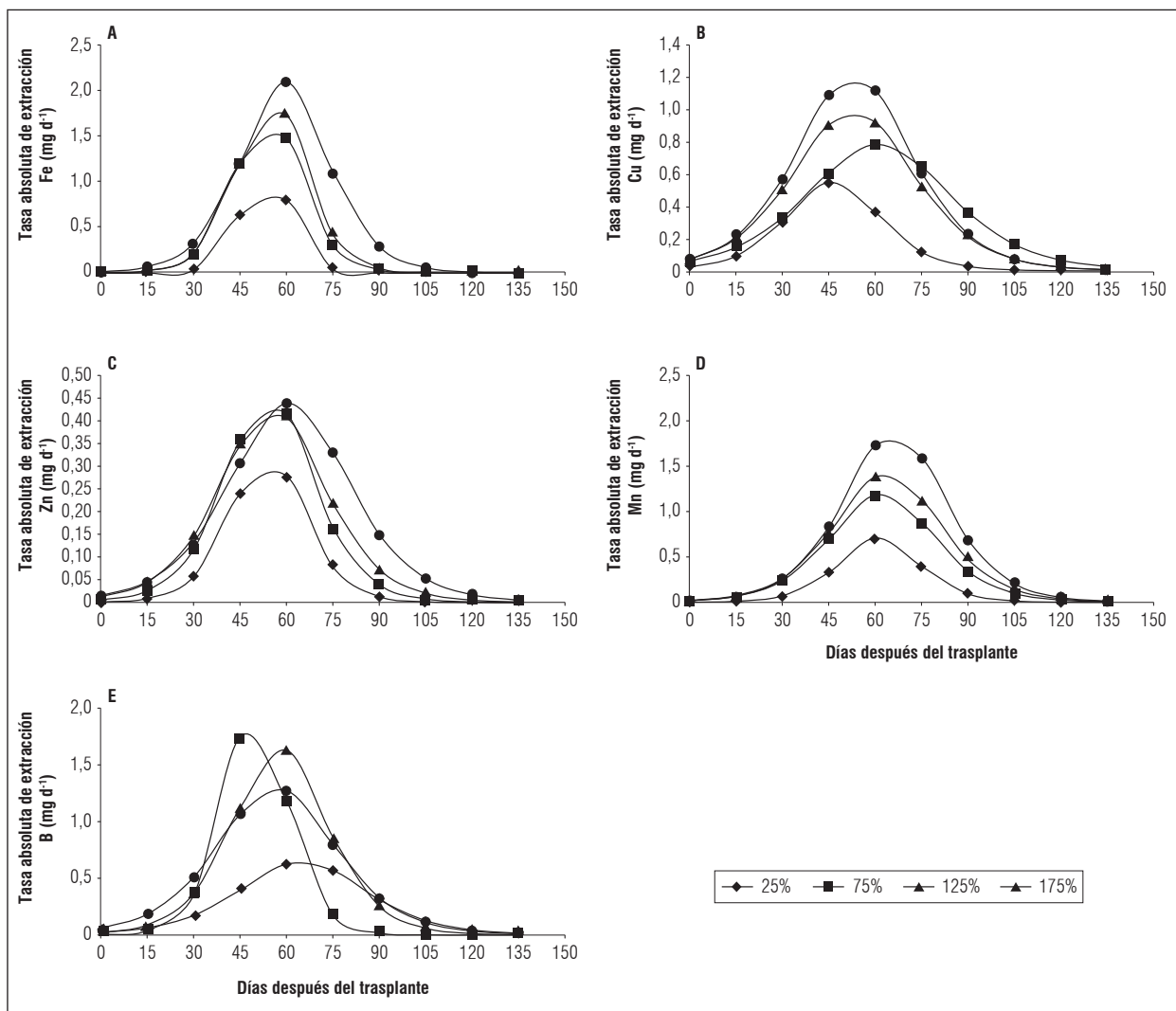


Figura 2. Tasa absoluta de extracción de micro nutrientes del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.

Tabla 3. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza para extracción de micro nutrientes (mg/planta) en cultivo de pepino.

FV	GL	CM				
		Fe	Cu	Zn	Mn	B
Tratamiento	3	1780,19**	920,28**	90,39**	1884,82**	1132,21**
Bloque	2	18,48	0,84	1,18	17,35	17,33
Error	6	76,05	45,54	3,34	63,17	25,84
CV		20,02	17,13	11,93	16,46	10,80

FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; **: diferencias estadísticas significativas a la $P \leq 0,01$.

Tabla 4. Rendimiento del cultivo de pepino usando cuatro concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)	Rendimiento (kg/planta)
25	3,31 c
75	6,38 bc
125	6,94 b
175	8,20 a

Promedios con letras distintas indican a diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

A la luz de los resultados obtenidos se aprecia la importancia de la extracción nutrimental del cultivo de pepino que de acuerdo con lo indicado por Anjanappa *et al.* (2012), aprovecha el máximo potencial de los genotipos de alto rendimiento utilizados en la actualidad, así como las bondades del cultivo protegido de esta hortaliza en invernadero y la aplicación de soluciones nutritivas, las cuales proporcionan los nutrimentos requeridos por el cultivo de una manera óptima y propician según Pso y Nweke (2015) mayor crecimiento, sanidad, rendimiento y calidad que se refleja en el mejoramiento sustancial de la eficiencia de fertilizantes y agua y mitigar los impactos al ambiente (Grewal *et al.*, 2011).

Las cantidades de micro nutrimentos requeridas para producir 1 t de frutos (Tab. 5) con la solución nutritiva universal de Steiner al 175% de concentración, evidencian que el cultivo de pepino presentó mejor respuesta al rendimiento con la mayor aplicación de nutrimentos, lo cual es uno de los aspectos de mayor importancia en la producción de hortalizas en invernadero, con el uso de soluciones nutritivas, lo que de acuerdo con los planteamientos de Moreno *et al.* (2015) en el cultivo de pepino tiene influencia también en la obtención de frutos de calidad, entendida en términos de apariencia, textura, sabor, aroma, valor nutritivo, constituyentes químicos, propiedades funcionales y ausencia de defectos.

Si bien, el cultivo de pepino se caracteriza de acuerdo con Motior *et al.* (2011) por una alta extracción de nutrimentos, se ha indicado que los micro nutrimentos son requeridos en pequeñas cantidades en concordancia con lo reportado por Ghehsareh y Samadi (2012), lo cual no resta importancia al papel que juegan dichos elementos en el sistema de oxidación-reducción y en muchos procesos de la actividad celular como

Tabla 5. Cantidades de Fe, Cu, Zn, Mn y B extraídas para producir 1 t de frutos de pepino con la solución nutritiva universal de Steiner a 175%.

Nutrimento	Extracción (g t ⁻¹)
Fe	41,74
Cu	34,90
Zn	12,01
Mn	40,84
B	36,91

coenzimas, de tal manera que su deficiencia puede causar problemas en el metabolismo, crecimiento y rendimiento del cultivo, ya que de acuerdo con Fasaci (2013) y El Sayed *et al.* (2015) se ha encontrado una alta correlación de la acumulación de materia seca total con la extracción de elementos minerales, tales como Fe, Cu, Zn y Mn.

En concordancia con Ramírez-Pérez *et al.* (2017), considerando los resultados obtenidos de extracción de micro nutrimentos, en condiciones de invernadero y suministro de solución nutritiva universal de Steiner al 175%, es posible planificar la aplicación de Fe, Cu, Zn, Mn y B de manera más eficiente, de tal modo que se puede lograr la mayor acumulación de materia seca, y a través de los modelos matemáticos de extracción nutrimental (Tab. 1), se pueden cuantificar las cantidades requeridas diariamente de cada micro nutrimento, haciendo posible evitar las aplicaciones excesivas, incrementando la eficiencia de la nutrición mineral en cultivo de pepino.

CONCLUSIONES

La extracción de micro nutrimentos en el cultivo de pepino aumentó a medida que se aumentó la concentración de la solución nutritiva universal de Steiner.

La aplicación de diferentes de cantidades de micro nutrimentos en el cultivo de pepino, a través de distintas concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner, ocasionó respuesta diferencial en el rendimiento, de tal manera que, con la mayor concentración, se obtuvo el mayor rendimiento, en comparación con los tratamientos de menor concentración.

La mayor extracción de micro nutrimentos, con todas las concentraciones de la solución nutritiva universal

de Steiner utilizadas, ocurrió entre los 45 y 60 d después de la siembra.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaoui-Sossé, B., P. Genet, F. Vinit-Dunand, M.-L. Tous-saint, D. Epron y P.-M. Badot. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Sci.* 166(5), 1213-1218. Doi: 10.1016/j.plantsci.2003.12.032
- Anjanappa, M., J. Venkatesha y B. Suresh Kumara. 2012. Dry matter accumulation and uptake of nutrients by cucumber (cv. Hassan Local) as influenced by organic, inorganic and bio-fertilizers. *Karnataka J. Agric. Sci.* 25(4), 552-554. Doi: 10.1.1.862.3791
- Barraza, F.V. 2017. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 11(2), 343-350. Doi: 10.17584/rcch.2017v11i2.7346
- Burton, J. 2017. World leaders in cucumber production. En: *WorldAtlas*, worldatlas.com/articles/the-world-leaders-in-cucumber-production.html; consultado: abril de 2018.
- Cikili, Y., H. Samet y S. Dursun. 2013. Effects of potassium treatment on alleviation of boron toxicity in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.). *Soil-Water J.* 2(2), 719-726.
- Dominy, A. e I. Bertling. 2004. Manganese, zinc and silicon studies of cucumber (*Cucumis sativus*) using a miniature hydroponic system. *Acta Hortíc.* 644, 393-398. Doi: 10.17660/ActaHortic.2004.644.52
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28(1), 33-46. Doi: 10.1051/agro:2007051
- Eifediyi, E.K. y S.U. Remison. 2010. Growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by farm-yard manure and inorganic fertilizer. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 2(7), 216-220.
- El Sayed, H.E.A., R.O.A. Younis y H.S. Al Othaimen. 2015. Responses of changes in productivity, yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plant under bio-and chemical nutrition. *Eur. J. Acad. Essays.* 2(7), 68-74.
- FAOSTAT. 2018. Cultivos. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>; consultado: mayo de 2018.
- Fasaei, R.G. 2013. Influence of foliar application of salicylic acid and soil application of humic materials on cucumber and chickpea grown on a nutrient deficient soil. *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 5(21), 2639-2644.
- Ghehsareh, A.M. y N. Samadi. 2012. Effect of soil acidification on growth indices and microelements uptake by greenhouse cucumber. *Afr. J. Agric. Res.* 7(11), 1659-1665.
- Grewal, H.S., B. Maheshwari y S.E. Parks. 2011. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: an australian case study. *Agr. Water Manage.* 98(5), 841-846. Doi: 10.1016/j.agwat.2010.12.010
- Hyams, D. 2003. Curve Expert 1.3. Hyams Development, Starkville, MS, USA.
- Klamkowski, K., W. Treder y A. Tryngiel. 2011. Growth and photosynthetic activity of cucumber as influenced by different fertilization regimes. *Ecol. Chem. Eng.* 18(1), 35-41.
- Küçükyumuk, Z., H. Özgönen, I. Erdal y F. Eraslan. 2014. Effect of zinc and *Glomus intraradices* on control of *Pythium deliense*, plant growth parameters and nutrient concentrations of cucumber. *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 42(1), 138-142. Doi: 10.15835/nbha4219346
- Maksimović, J.D., M. Mojović y V. Maksimović. 2016. Silicon facilitates manganese phytoextraction by cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Zastita Materijala* 57(3), 424-429. Doi: 10.5937/ZasMat1603424D
- Mendoza, B., L. Almao, L.M. Marcó y V. Rodríguez. 2015. Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (*Saccharum officinarum* L.). *Ciencia y Tecnología.* 7(2), 9-20. Doi: 10.18779/cyt.v7i2.98
- Moreno, D.A., G. Vállora y L. Romero. 2003. Variations in fruit micronutrient contents associated with fertilization of cucumber with macronutrients. *Sci. Hort.* 97(2), 121-127. Doi: 10.1016/S0304-4238(02)00147-4
- Moreno, D., B. Hernández, J. Barrios, A. Ibáñez, W. Cruz y R. Berdeja. 2015. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(3), 637-643. Doi: 10.29312/remexca.v6i3.648
- Motior, M.R., A.S. Abdou, F.H. Al Darwish, K.A. El-Tarabily, M.A. Awad, F. Golam y M. Sofian-Azirun. 2011. Influence of elemental sulfur on nutrient uptake, yield and quality of cucumber grown in sandy calcareous soil. *Aust. J. Crop Sci.* 5(12), 1610-1615.
- Nwofia, G.E., A.N. Amajuoyi y E.U. Mbah. 2015. Response of three cucumber varieties (*Cucumis sativus* L.) to planting season and NPK fertilizer rates in lowland humid tropics: sex expression, yield and Inter-relationships between yield and associated traits. *Int. J. Agric. For.* 5(1), 30-37.
- Pso, O. y I. Nweke. 2015. Effect of poultry manure and mineral fertilizer on the growth performance and quality

- of cucumber fruits. *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 3(4), 362-367. Doi: 10.18006/2015.3(4).362.367
- Ramírez-Pérez, L., A.B. Morales-Díaz, K. de Alba-Roménus, S. González-Morales, A. Benavides-Mendoza y A. Juárez-Maldonado. 2017. Determination of micronutrient accumulation in greenhouse cucumber crop using a modelling approach. *Agronomy* 7(4), 79-96. Doi: 10.3390/agronomy7040079
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea y G. Colla. 2008. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environ. Exp. Bot.* 63(1-3), 49-58. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.10.015
- Sadzawka, A., R. Grez Z., M.A. Carrasco y M.L. Mora. 2004. Métodos de análisis de tejidos vegetales. En: Comisión de Normalización y Acreditación-Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo; Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS user's guide: Statistical analysis system. Version 9.0. SAS Institute, Cary, NC.
- Song, W. y X. Qiao. 2008. A regression model of dry matter accumulation for solar greenhouse cucumber. pp. 1346-1352. En: Li, D. (eds.). *Computer and computing technologies in agriculture*. Vol. II. CCTA 2007. The International Federation for Information Processing. Vol 259. Springer, Boston, MA.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15(2), 134-154. Doi: 10.1007/BF01347224
- Sánchez-del-Castillo, F., L. González-Molina, E.C. Moreno-Pérez, J. Pineda-Pineda y E.C. Reyes-González. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(3), 261-269.
- Sánchez-del-Castillo, F. y E. Escalante. 1988. *Hidroponía*. 3a ed. Imprenta Universitaria de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. pp. 99-151.
- Savvas, D., G. Ntatsi y P. Barouchas. 2013. Impact of grafting and rootstock genotype on cation uptake by cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to Cd or Ni stress. *Sci. Hortic.* 149, 86-96. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.06.030
- Tabaldi, L.A., R. Ruppenthal, D. Cargnelutti, V.M. Morsch, L.B. Pereira y R.M.C. Schetinger. 2007. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 59(1), 43-48. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.009
- Tzerakis, C., D. Savvas, N. Sigrimis y G. Mavrogiannopoulos. 2013. Uptake of Mn and Zn by cucumber grown in closed hydroponic systems as influenced by the Mn and Zn concentrations in the supplied nutrient solution. *HortScience* 48(3), 373-379. Doi: 10.21273/HORTSCI.48.3.373
- Vieira Neto, J., F.O.G. Menezes Júnior y P.A. Souza Gonçalves. 2013. Produção e curva de crescimento de pepineiros para conserva em manejo convencional e com controle alternativo de pragas. *Rev. Ciênc. Agrovet.* 12(3), 229-237.
- Vigani, G., D. Di Silvestre, A.M. Agresta, S. Donnini, P. Mauri, C. Gehl, F. Bittner e I. Murgia. 2017. Molybdenum and iron mutually impact their homeostasis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *New Phytol.* 213(3), 1222-1241. Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.14214>