

Rendimiento agronómico del jitomate suplementado con microelementos Fe, Cu y Zn

Martha Santis Santis¹
Marcelino Cabrera De la Fuente^{1§}
Adalberto Benavides Mendoza¹
Alberto Sandoval Rangel¹
Hortensia Ortega Ortíz²
Armando Robledo Olivo¹

¹Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. (santissantism@gmail.com; abenmen@gmail.com; sandovalr16@gmail.com; armando.robledo@outlook.com). ²Centro de Investigación en Química Aplicada. Enrique Reyna H. núm. 140, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25294. (hortensia.ortega@ciqa.edu.mx).

§Autor para correspondencia: cafum7@yahoo.com.

Resumen

El jitomate es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial, por lo que, conocer el manejo en la nutrición y su interacción en el rendimiento agronómico es importante. El experimento se realizó en un invernadero de baja tecnología, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con el objetivo de determinar el efecto suplementario en diferentes concentraciones de los microelementos Fe, Cu y Zn en el rendimiento agronómico del cultivo de jitomate. Se evaluaron tres factores que consistieron en las aplicaciones suplementarias de fertilizantes a base de Fe, Cu y Zn y dos niveles de concentración para cada caso, además del tratamiento testigo (dosis normal de la solución nutritiva Steiner). Los tratamientos fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2, con 16 repeticiones por tratamiento. Las dosis bajas de Zn superaron al testigo 27.3% en la variable vitamina C, mientras que, en los sólidos solubles totales, área foliar (AF), relación área foliar (RAF) y área foliar específica (AFE) los niveles altos de Fe superaron al testigo en un 16.4%, 138%, 112% y 44%, respectivamente; sin embargo, en el rendimiento las dosis altas de Cu superaron al testigo 36%.

Palabras clave: hierro, cobre, micronutrientes, solución nutritiva, zinc.

Recibido: junio de 2019

Aceptado: agosto de 2019

Introducción

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas importantes en México, ocupando la novena posición en producción (SIAP, 2016), por lo que un manejo inadecuado en la nutrición del cultivo puede disminuir los rendimientos, provocando cambios fisiológicos, morfológicos y bioquímicos que afectan negativamente, los cuales afectan la tasa fotosintética, la superficie radicular por problemas de adsorción y por consiguiente un escaso crecimiento aéreo de las plantas. Los nutrientes juegan un papel importante en el aumento de la productividad y calidad en los cultivos modificando el entorno de las plantas (Briat y Gaymard, 2015).

Aunque los microelementos hierro, zinc, cobre, molibdeno, boro, manganeso y cloro son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas son utilizados en cantidades menores que los macroelementos (Soetan *et al.*, 2010), actuando como catalizadores enzimáticos promoviendo las reacciones químicas (Sathiyamurthy *et al.*, 2017). El Fe, Cu y Zn son importantes en la producción de biomasa y calidad de hortalizas (Briat y Gaymard, 2015), por lo que una deficiencia en cualquiera de ellos puede cambiar la estructura del cloroplasto, disminuir la fotosíntesis y modificar el transporte de electrones en PSI y PSII (Eberhard *et al.*, 2008), el Zn es un activador enzimático y produce cambios en el metabolismo de la planta incluyendo afectación en la síntesis de carbohidratos, proteínas, auxinas y daños en la integridad de la membrana (Kyrkby y Römheld, 2008).

Por su parte el Cu desempeña un papel importante en la fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales superóxidos y lignificación (Perea *et al.*, 2010), además participa en diversos procesos fisiológicos, como la distribución de carbohidratos, la reducción y fijación de N, el metabolismo de las proteínas, entre otras (Lin y Jin, 2018). El Fe participa en procesos fisiológicos como la biosíntesis de clorofila, respiración y reacciones redox (Rui *et al.*, 2016). El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto suplementario en diferentes concentraciones de los microelementos Fe, Cu y Zn en el rendimiento agronómico del cultivo de jitomate.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en invernadero de baja tecnología, perteneciente al Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, localizada en 25° 23" latitud norte y 101° 01" longitud oeste a 1 743 msnm, en el interior de la estructura se registraron temperaturas que oscilaron entre 26 a 30 °C. La variedad utilizada fue el jitomate comercial Río Grande, el cuál es tipo saladette de crecimiento determinado, la siembra se efectuó en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades, con sustrato *peat moss* marca premier del fabricante Green forest México, como mezcla para germinación, 30 días posteriores a la emergencia, se trasplantó, utilizando una mezcla de *peat mos*-perlita en una proporción 75%-25%, respectivamente, en bolsas de polietileno con capacidad de 10 litros.

Manejo agronómico

La nutrición del cultivo consistió en aplicaciones de solución nutritiva de acuerdo a la etapa fenológica de las plantas (Cuadro 1), adicionando de manera suplementaria los micronutrientes Zn, Fe y Cu en dos dosis de cada uno como promotores de calidad nutraceutica en el cultivo (Cuadro 2). Se utilizó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961) respecto al método universal.

Cuadro 1. Concentraciones de la solución nutritiva Steiner aplicada por etapa fenológica en el cultivo de jitomate.

Etapa fenológica	Concentración
Inicio de crecimiento vegetativo	25%
Crecimiento vegetativo pleno	50%
Floración y crecimiento de frutos	75%
Llenado de frutos y cosecha	100%

Cuadro 2. Tratamientos y dosis de Fe, Cu y Zn en la solución Steiner en el cultivo de jitomate.

Tratamientos	Descripción
1	Solución Steiner
2	Solución Steiner -10% de Fe
3	Solución Steiner + 10% de Fe
4	Solución Steiner -10% de Cu
5	Solución Steiner + 10% de Cu
6	Solución Steiner -10% de Zn
7	Solución Steiner + 10% de Zn

Fe= hierro; Zn= zinc; y Cu= cobre.

El manejo fitosanitario consistió en la aplicación de fungicidas como el Tiabendazol (Tecto 60) en dosis de 2 kg ha⁻¹, Mancozeb (mancozeb nufarm 800 WP) en dosis de 0.5 kg ha⁻¹ e hidróxido cúprico (Cuperhidro) en dosis de 2 L ha⁻¹, por intervalos de 8 días desde la producción de plántulas hasta el crecimiento de frutos, intercalando productos químicos para evitar resistencia.

El riego fue manual realizándose dos por día y el suministro se realizó en función a la etapa fenológica del cultivo y de las condiciones ambientales del interior del invernadero. La solución nutritiva Steiner al igual que los tratamientos se aplicaron una vez por semana. Para la conducción del cultivo, se utilizó un sistema de tutoreo, el cual se colocó a los 15 días después del trasplante, donde se condujo la planta a un tallo, con una densidad de dos plantas por metro cuadrado.

Variables evaluadas

Las variables firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C y pH se tomaron cuando los frutos de jitomate se encontraban en estado de madurez comercial de acuerdo a la clasificación de Castro *et al.* (2009) correspondiente al número cuatro presentando una coloración roja en 30% y menos de

60% de la superficie del fruto. Del primer corte se tomaron cinco frutos por tratamiento, para medir la firmeza en frutos se utilizó un penetrómetro marca Margner punta de 8 mm, para la determinación de los grados Brix se usó un refractómetro modelo HI 96801 de Hanna Instruments Inc. (Woonsocket, Rhode Island, 02895, EUA), el pH se midió con un potenciómetro marca Hanna. El ácido ascórbico en los frutos se determinó de acuerdo con el método AOAC 967.21.

La dinámica de producción de materia seca se determinó mediante dos muestreos destructivos, a los 37 y 80 días después del trasplante (DDT). En cada muestreo se cortaron tres plantas por tratamiento, a cada planta se le separaron los órganos vegetativos en tallos, hojas y raíz, la suma de ambos representó el peso total de la planta.

En hoja se determinó el área foliar con el medidor de área foliar marca LI 3000A. Los órganos vegetativos se secaron por separado en bolsas de papel estraza en una estufa de secado marca MAPSA modelo HDP 334 a una temperatura de 70 °C por 72 h, para estimar el peso seco de los mismos. La relación área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), relación peso foliar (RPF), índice de área foliar (IAF) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) se determinaron con los valores de materia seca y área foliar, los cuales se calcularon con los índices de crecimiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fórmulas de índices de crecimiento de jitomate según Radford (1976); Hunt (1978).

Índice de crecimiento	Nombre	Fórmulas para valor medio	Unidades
Relación de área foliar	RAF	$\frac{\left(\frac{AF}{W1}\right) + \left(\frac{AF}{W2}\right)}{2}$	Área*peso ⁻¹
Área foliar específica	AFE	$\frac{AF2}{W2}$	Área*peso ⁻¹
Relación peso foliar	RPF	$\frac{PSAF}{PSP1}$	Peso*peso ⁻¹
Índice de área foliar	IAF	$\frac{AF}{As}$	Adimensional
Tasa de crecimiento del cultivo	TCC	$\frac{1}{As} * \frac{W2-W1}{T2-T1}$	Peso*área*Tiempo ⁻¹

AF= área foliar; As= área suelo; PSAF= peso seco del área foliar; PSP1= peso seco de la planta; W1= peso seco total inicial; W2= peso seco final; T= tiempo inicial; y T2= tiempo final.

El rendimiento se estimó en 10 plantas por tratamiento hasta el final de ciclo del cultivo, el primer corte se realizó 65 días después del trasplante, cada diez días se cosecharon los frutos en la etapa de madurez comercial, los frutos que presentaban un color rojo.

Diseño de los tratamientos

En el diseño de los tratamientos (Cuadro 4) fueron considerados tres factores que consistieron en las aplicaciones suplementarias de fertilizantes a base de hierro, cobre y zinc y dos niveles de concentración para cada caso, además del tratamiento testigo (solo solución nutritiva). Los

tratamientos fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2, con 16 repeticiones por tratamiento totalizando 112 unidades experimentales, la separación de medias se hizo con la prueba LSD utilizando el paquete estadístico Infostat (2017).

Cuadro 4. Tratamientos y dosis de Fe, Cu y Zn en la solución Steiner en el cultivo de jitomate.

Tratamientos	Descripción
Testigo	Solución Steiner Normal
450 g ha ⁻¹ Fe	Solución Steiner -10% de Fe
550 g ha ⁻¹ Fe	Solución Steiner + 10% de Fe
0.71 g ha ⁻¹ Zn	Solución Steiner -10% de Cu
0.86 g ha ⁻¹ Zn	Solución Steiner + 10% de Cu
3.5 g ha ⁻¹ Cu	Solución Steiner -10% de Zn
4.2 g ha ⁻¹ Cu	Solución Steiner + 10% de Zn

Fe= hierro; Cu= cobre; y Zn= zinc.

Resultados y discusión

Para la calidad de fruto en las variables firmeza, pH y vitamina C no se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$); sin embargo, para la vitamina C el tratamiento con bajos niveles de Zn superó al testigo con 27.39%, en sólidos solubles totales (SST) si hubo diferencias estadísticas. Los niveles altos de Fe fueron superiores 16.45% en comparación con el testigo, mientras que la deficiencia de Fe fue 5.62%.

Los resultados del presente trabajo fueron diferentes a los obtenidos por Valentinuzzi *et al.* (2015) quienes al someter al cultivo de fresa a una deficiencia de Fe, los grados Brix y firmeza de los frutos no fueron alterados, las dosis altas de Zn en SST superaron al testigo 15%, estos resultados coinciden con los obtenidos por López *et al.* (2018) quienes al aplicar 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de este microelemento encontraron mayor concentración de SST y lo atribuyen a que el Zn es indispensable en la actividad enzimática en la fotosíntesis, metabolismo de los carbohidratos y transporte de azúcares hacia los puntos de demanda.

Los tres microelementos evaluados no mostraron diferencias estadísticas significativas en firmeza, pH y vitamina C, resultados similares fueron encontrados por Álvarez *et al.* (2003) quienes demostraron que en deficiencia de Fe no hubo diferencias en las variables de vitamina C, acidez y SST en *Prunus persica* cultivar Babygol. La variable de SST mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$), donde los tratamientos con 550 g de Fe mostraron los mayores valores de grados Brix con 5.38 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables de firmeza, sólidos solubles totales, pH y vitamina C en frutos de jitomate variedad Río Grande.

Tratamientos	Firmeza (libras)	SST (°Brix)	PH	VTC (mg 100 g ⁻¹)
Testigo	8.5 a ^Z	4.62 ab	4.33 a	12.63 a
450 g ha ⁻¹ Fe	9.56 a	4.88 ab	4.33 a	11.67 a
550 g ha ⁻¹ Fe	8.94 a	5.38 a	4.35 a	13.7 a
3.5 g ha ⁻¹ Zn	9.12 a	4.26 b	4.38 a	16.09 a

Tratamientos	Firmeza (libras)	SST (°Brix)	PH	VTC (mg 100 g ⁻¹)
4.2 g ha ⁻¹ Zn	9.44 a	5.32 ab	4.37 a	15.78 a
0.71 g ha ⁻¹ Cu	9 a	4.9 ab	4.29 a	15.81 a
0.86 g ha ⁻¹ Cu	9.18 a	5.18 ab	4.58 a	14.44 a
EE	0.51	0.38	0.16	1.61

Z= Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de LSD a una $p \leq 0.05$; EE= error estándar; VTC= vitamina C; SST= sólidos solubles totales; Fe= hierro; Cu= cobre; Zn= zinc; mg 100 g⁻¹= miligramos por 100 gramos de fruto fresco.

El área foliar (AF) del cultivo de jitomate en ambas dosis de Fe se vieron afectadas significativamente, con una mayor área foliar en las dosis altas, superando al testigo en 138%, presentando un área foliar promedio de 2 917 cm², esto fue debido a que la baja concentración de Fe provocó una disminución en los contenidos de clorofila y otros componentes de los cloroplastos lo que disminuyó la capacidad de crecimiento del cultivo, resultados similares fueron encontrados por Incesu *et al.* (2015) en el cultivo de Mandarina; sin embargo, en las diferentes dosis de Zn y Cu fueron estadísticamente similares al testigo ($p \leq 0.05$)

Para las dosis de Zn, el testigo mostró una mayor área foliar seguido de las concentraciones altas, datos contrastantes fueron reportados por Haleema y Hussain (2018) en cultivo de jitomate quienes demostraron que a mayor dosis de Zn mayor fue el área foliar. En Cu se observó que las dosis altas superaron al testigo 63% (Figura 1), dichos resultados contradicen a lo mencionado por Yruela (2005), quien menciona que las plantas con exceso de Cu regularmente presentan una disminución en la biomasa.

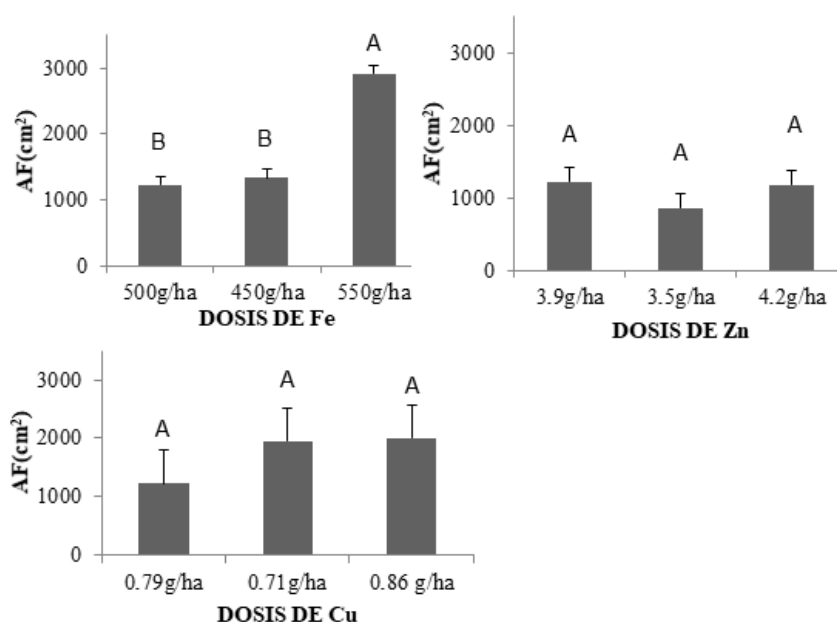


Figura 1. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en el área foliar (AF) en el cultivo de jitomate. Las literales distintas sobre la barra de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

La relación área foliar (RAF) entre los tratamientos fueron estadísticamente diferentes en las dosis de Fe y Zn, las dosis altas de hierro superaron al testigo 112% (Figura 2), señalando que un exceso de Fe genera una reducción en el crecimiento y esta dependerá de las concentraciones en la solución, por otro lado las dosis altas de Zn fueron superiores 50%; sin embargo, otros resultados señalan que un exceso de Zn propicia una disminución de materia seca en la planta (Casierra *et al.*, 2010), ocasionando una reducción en la producción de biomasa (Rizwan *et al.*, 2017), mientras que las dosis de Cu fueron estadísticamente similares, Yruela (2005), señala que las concentraciones en exceso de Cu inhibe el crecimiento, provocando alteraciones en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y respiración, generando una reducción en la biomasa del cultivo.

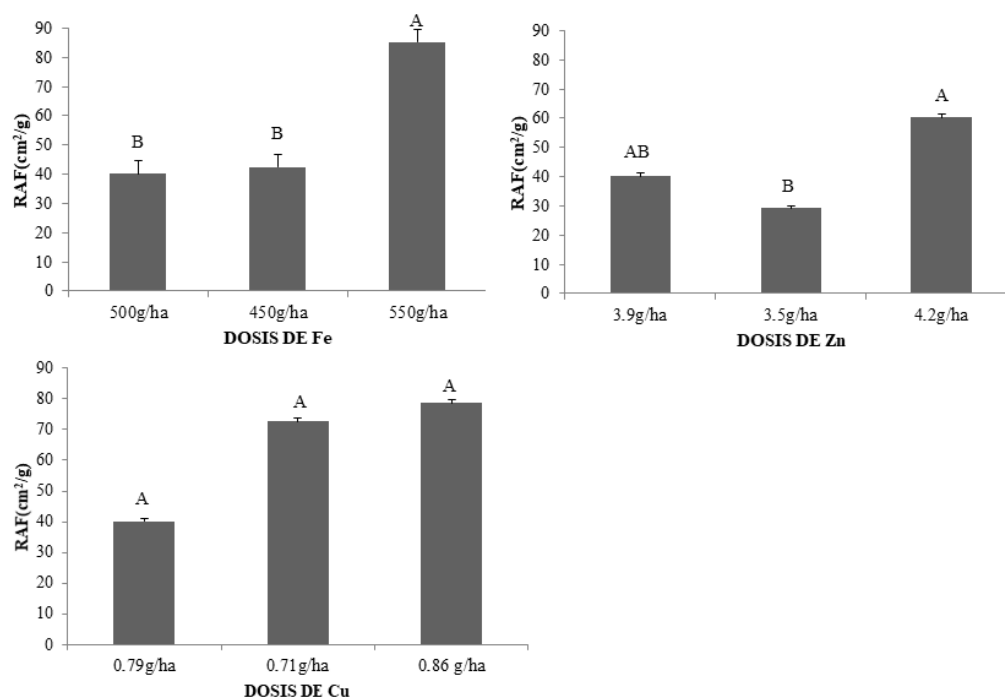


Figura 2. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en la relación área foliar (RAF) en el cultivo de jitomate. Las literales distintas sobre las barras de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

Para el área foliar específica (AFE), las dosis altas de Fe y Zn superaron al testigo con 44% y 73%, respectivamente, mientras que en las dosis de Cu no hubo diferencias significativas (Figura 3), de las dosis altas a las medias (testigo) para Fe y Zn hubo una disminución de AFE. De acuerdo con Santos *et al.* (2010) el decremento puede deberse a cambios morfológicos que determinan la formación de hojas pequeñas y gruesas, por su parte Lizarazo *et al.* (2013) encontraron que sus tratamientos con deficiencia y exceso de Zn no hubo diferencias significativas, y mencionan que en plantas con deficiencia o exceso de Zn sus hojas son delgadas. Por otra parte, Ghasemian *et al.* (2010) mencionan que con la aplicación de 50 kg h⁻¹ de Fe aumentó significativamente el número de vainas, peso de vainas y producción de biomasa en el cultivo de *Glycine max*.

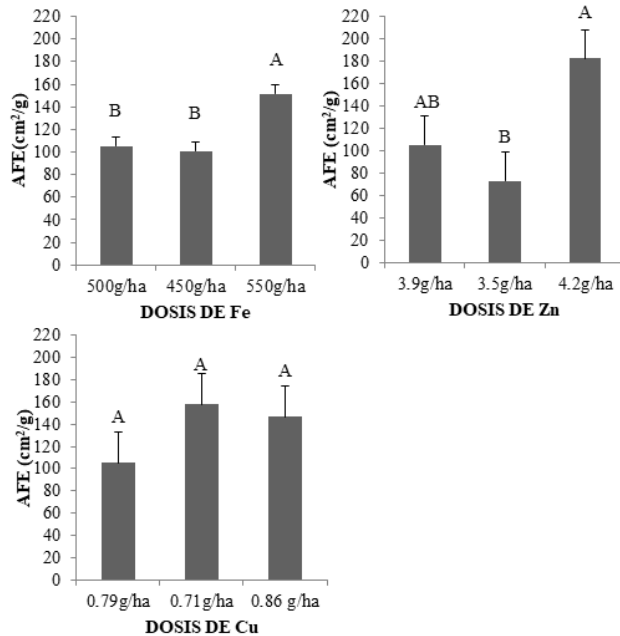


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en el área foliar específica (AFE) en el cultivo de jitomate. Literales distintas sobre las barras de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

En la relación peso foliar (RPF) fueron estadísticamente similares los tratamientos (Figura 4), en esta misma variable se encontró que al inicio del ciclo en *Pisum sativum* no hubo diferencias; sin embargo, al finalizar el ciclo hubo una diferencia donde las dosis de 2 mg L⁻¹ fueron superiores.

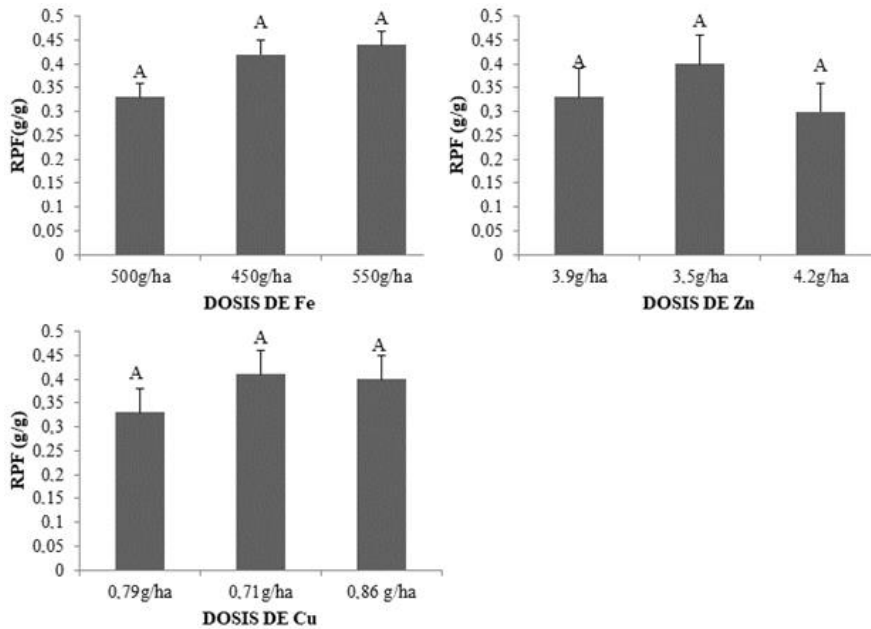


Figura 4. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en la relación peso foliar (RPF) en el cultivo de jitomate. Literales distintas sobre las barras de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

La variable índice de área foliar (IAF) el tratamiento con 550 kg ha⁻¹ de Fe (dosis alta) fueron superiores 101% en comparación con el testigo, por lo que se puede demostrar que las dosis altas de Fe aprovecharon la radiación presente. De acuerdo con Barraza *et al.* (2004) el aumento del IAF se manifiesta fisiológicamente en una mayor tasa de translocación de foto asimilados hacia los puntos de demanda. En las dosis de Zn y Cu no hubo diferencias estadísticas (Figura 5).

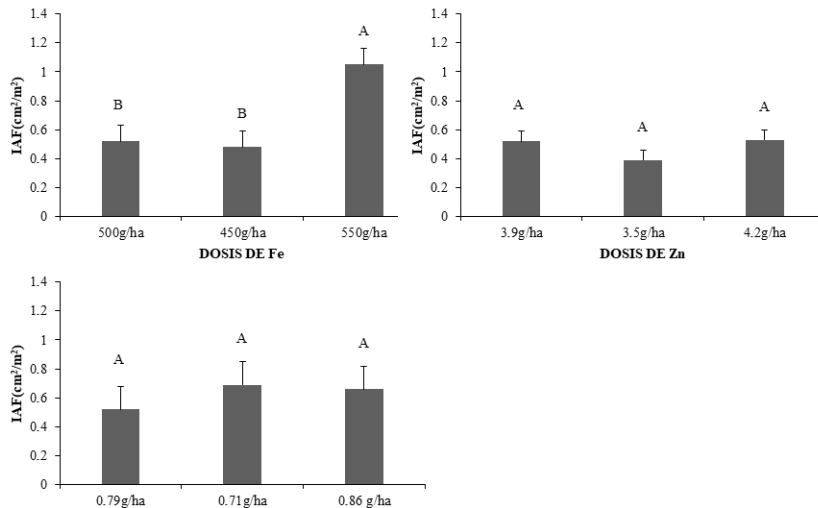


Figura 5. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en el índice de área foliar (IAF) en el cultivo de jitomate. Literales distintas sobre las barras de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) (Figura 6) que indica la eficiencia productiva de la biomasa por unidad de superficie ocupada (suelo) a través del tiempo (Santos *et al.*, 2010), este trabajo fue estadísticamente similares, Pingoliya *et al.* (2014) mencionan que la aplicación de 2 kg ha⁻¹ de sulfato ferroso incrementó la biomasa, producción y rendimiento de *Cicer arietinum*.

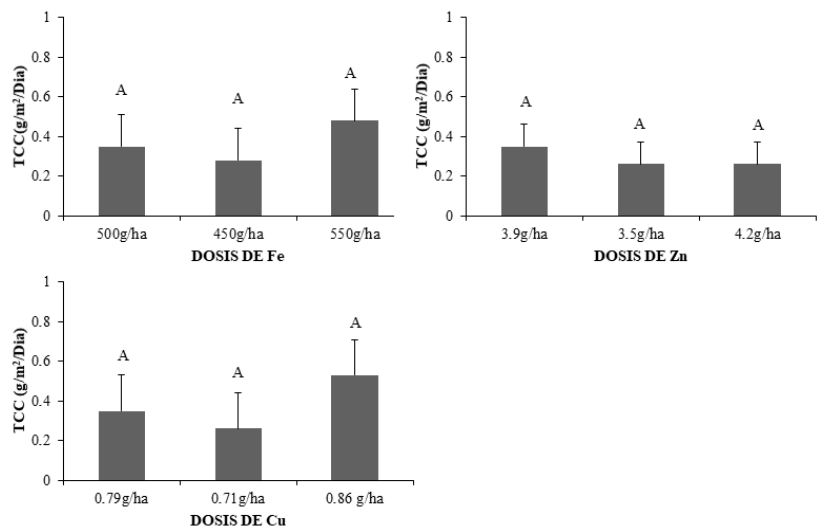


Figura 6. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el cultivo de jitomate. Literales distintas sobre las barras de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

El rendimiento con las dosis de Fe y Zn no mostraron diferencias estadísticas, el Fe en las dosis de 450 g, ha referido un mayor rendimiento con 28 t ha⁻¹ en comparación con el testigo (Figura 7), resultados diferentes se presentaron en el cultivo de *Vigna radiata* donde las dosis de 5 kg ha⁻¹ de Fe contribuyó al máximo rendimiento (Jamal *et al.*, 2018).

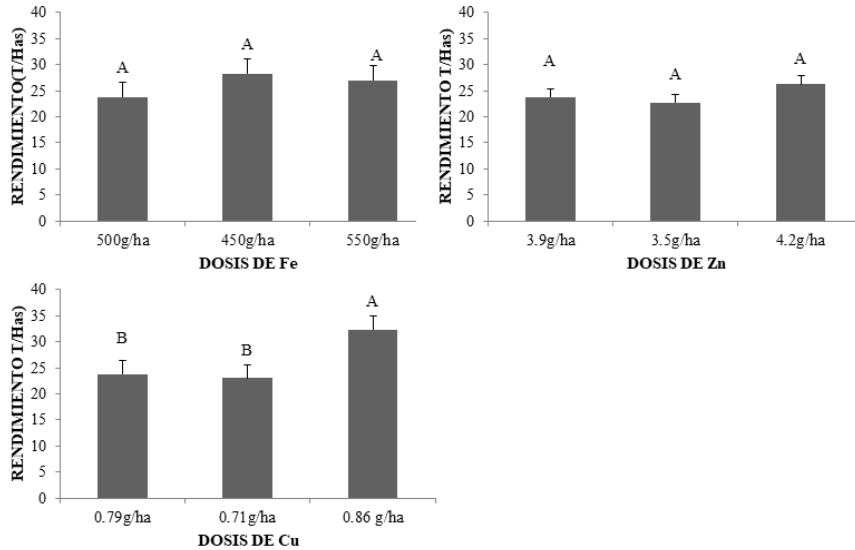


Figura 7. Efecto de diferentes dosis de Fe, Zn y Cu en el rendimiento del cultivo de jitomate. Literales distintas sobre la barra de error estándar, entre niveles de un mismo elemento, indican diferencia significativa según la prueba de LSD ($p \leq 0.05$).

Las dosis de Cu hubo diferencias estadísticas, las altas fueron superiores al testigo 36%, valores diferentes al aplicar Fe, Cu y Zn en *L. esculentum* observaron que los mejores rendimientos fueron con dosis de Zn seguido de Cu superando al testigo 20% y 4% respectivamente, por su parte Patil *et al.* (2008) al aplicar Fe, Cu y Zn a 100 ppm, encontraron que el Fe aportó mejores rendimientos con 18.25 t ha⁻¹, seguido de Zn con 17.57 t ha⁻¹ y finalmente Cu con 15.58 t ha⁻¹ en *L. esculentum*. En el presente trabajo los menores rendimientos se encontraron con las dosis bajas de Zn.

En el Cuadro 6 se muestran los valores de las variables área foliar, RAF, AFE, RPF, IAF y rendimiento. Las dosis altas de Fe y Cu mostraron las mayores áreas foliares respecto al testigo en un 137% y 63%, respectivamente, valores similares fueron reportados por El-Fouly *et al.* (2001) quienes demostraron que a concentraciones de 33.6 ppm de Fe (considerada dosis altas) el área foliar fue mayor en *Helianthus annuus*.

Las dosis bajas de Cu y las altas de Fierro incrementaron 91% la RAF resultados similares fueron reportados por Vinit-Dunand *et al.* (2002) quienes señalan que la aplicación de Cu a bajas concentraciones proporcionó mayor relación de área foliar en comparación con las dosis altas (10 mg g⁻¹ de sustrato) en *Cucumis sativus*.

En área foliar específica las dosis altas de Zn y las dosis bajas de Cu superaron al testigo con 73 y 49%, respectivamente, Rouphael *et al.* (2008) al hacer aplicaciones de Cu encontraron que a mayor concentración menor área foliar específica, con dosis de 0.3, 47 y 94 μM observaron una AFE de 273.2, 256.8 y 238.3 cm² g⁻¹, respectivamente, en *Cucumis sativus*.

Cuadro 6. Efecto del Fe, Cu y Zn en las variables de producción de biomasa y rendimiento.

Tratamiento	AF (cm ²)	RAF (cm ² g ⁻¹)	AFE (cm ² g ⁻¹)	RPF (g g ⁻¹)	IAF (cm ² cm ⁻²)	TCC (g m ⁻² día ⁻¹)	REND (t ha ⁻¹)
Testigo	1225.82 bc ^Z	34.79 b	105.34 bc	0.33 ab	0.52 b	0.35 a	23.79 b
450 g ha ⁻¹ Fe	1332.35 bc	40.97 ab	100.87 bc	0.42 ab	0.48 b	0.28 a	28.23 ab
550 g ha ⁻¹ Fe	2 917.18 a	66.45 a	151.63 ab	0.44 a	1.05 a	0.48 a	26.93 ab
3.5 g ha ⁻¹ Zn	867.92 c	28.16 b	73.14 c	0.4 ab	0.39 b	0.26 a	22.72 b
4.2 g ha ⁻¹ Zn	1 182.41 bc	52.88 ab	182.72 a	0.3 b	0.53 b	0.26 a	26.19 ab
0.71 g ha ⁻¹ Cu	1 954.04 ab	66.6 a	157.9 ab	0.41 ab	0.69 ab	0.26 a	22.98 b
0.86 g ha ⁻¹ Cu	2 003.8 ab	57.01 ab	146.73 ab	0.4 ab	0.66 b	0.53 a	32.37 a
EE	353.37	10.29	25.07	0.04	0.12	0.15	267

Z=medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de LSD a una $p \leq 0.05$; EE= error estándar; AF= área foliar; RAF= relación área foliar; AFE= área foliar específica; RPF= relación peso foliar; IAF= índice de área foliar; TCC= tasa de crecimiento del cultivo; REND= rendimiento; Fe= hierro; Cu= cobre; Zn= zinc.

En la variable RPF, las dosis altas de Fe superaron al testigo 33%, mientras, que el IAF las dosis altas de Fe y dosis bajas de Cu superaron al testigo en 101 y 32%, respectivamente, Caliskan *et al.* (2008) demostraron que la aplicación de 0, 200 y 400 g ha⁻¹ de Fe al inicio de la floración en *Glycine max* el IAF no fue significativo; sin embargo, fueron notables en la etapa de vaina completa, y los valores de IAF aumentaron significativamente con dosis altas de Fe (400 g ha⁻¹).

En rendimiento fue superior con las dosis altas de Cu, seguido de las dosis bajas de Fe, el cual superó al testigo con 5 t, resultados diferentes fueron encontrados por Kumar *et al.* (2009) al aplicar diferentes dosis de Cu en *Triticum aestivum*, el rendimiento más alto fue con 1.5 mg kg⁻¹ de suelo superando al control por 62.9% mientras que dosis altas presentó menor rendimiento que el control.

Conclusiones

Las dosis altas de los microelementos incrementaron las variables de calidad de fruto de jitomate, en especial sólidos solubles totales, firmeza y pH aunque sin diferencias estadísticas, por otro lado, las dosis bajas de Zn aumentó vitamina C; sin embargo, disminuyó los valores de AF, RAF, AFE, IAF y rendimiento. Las dosis altas de Fe mejoraron las variables AF, IAF y PRF. Las dosis de altas de Cu favorecieron el rendimiento y TCC. La deficiencia de los microelementos Fe, Cu y Zn limitó el área foliar, mientras que las dosis altas mejoraron el IAF y rendimiento.

Literatura citada

- Álvarez, F. A.; Paniagua, P.; Abadía, J. and Abadía, A. 2003. Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Agric. Food Chem.* 51(19):5738-5744.
- Barraza, F. V.; Gerhard, F. y Cardona, C. E. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate. *Agron. Colomb.* 22(1):81-90.
- Briat, J. F.; Dubos, C. and Gaymard, F. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends Plant Sci.* 20(1):33-40.

- Caliskan, S.; Ozkaya, I.; Caliskan, M. E. and Arslan, M. 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Res.* 108(2):126-132.
- Casierra, P. F.; González, L. A. y Ulrichs, C. 2010. Crecimiento en plantas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica) afectadas por exceso de Zinc. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 4(2):166-174.
- Castro, K.; Restrepo, M. L.; Ocampo, G. T. y Quintero, G. A. 2009. Intensidad de los sabores básicos del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en seis estados de madurez. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial (BSAA)*. 7(1):23-28.
- Eberhard, S.; Finazzi, G. and Wollman, F. A. 2008. The dynamics of photosynthesis. *Annual Review of Genetics.* 1(42): 463-515.
- El-Fouly, M. M.; Nofal, O. A. and Mobarak, Z. M. 2001. Effects of soil treatment with iron, manganese and zinc on growth and micronutrient uptake of sunflower plants grown in high-pH soil. *J. Agron. Crop Sci.* 186(4):245-251.
- Ghasemian, V.; Ghalavand, A.; Soroosh, Z. A. and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *J. Phytol.* 2(11):73-79.
- Haleema, B.; Rab, A. and Hussain, S. A. 2018. Effect of calcium, boron and zinc foliar application on growth and fruit production of tomato. *Sarhad J. Agric.* 34(1):19-30.
- Incesu, M.; Yeşiloğlu, T.; Cimen, B. and Yilmaz, B. 2015. Influences of different iron levels on plant growth and photosynthesis of W. Murcott mandarin grafted on two rootstocks under high pH conditions. *Turkish J. Agric. Forest.* 39(5):838-844.
- Jamal, A.; Khan, M. I.; Tariq, M. and Fawad, M. 2018. Response of mung bean crop to different levels of applied iron and zinc. *J. Hortic. Plant Res.* 3(4):13-22.
- Kumar, R.; Mehrotra, N. K.; Nautiyal, B. D.; Kumar, P. and Singh, P. K. 2009. Effect of copper on growth, yield and concentration of Fe, Mn, Zn and Cu in wheat plants (*Triticum aestivum* L.). *J. Environ. Biol.* 30(4):485-488.
- Kyrkby, E. y Römheld, V. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. *Informaciones agronómicas. Encarte técnico.* 118:1-24.
- Lin, M. Z. and Jin, M. F. 2018. Soil Cu contamination destroys the photosynthetic systems and hampers the growth of green vegetables. *Photosynthetica.* 56(4):1336-1345.
- Lizarazo, M. Á.; Hernández, C. A.; Fischer, G. y Gómez, M. I. 2013. Biomasa, parámetros foliares y sintomatología en respuesta a diferentes niveles de manganeso, zinc y boro en curuba (*Passiflora tripartita* var. mollissima). *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 7(1):31-45.
- López, H. A.; Castillo, G. A. M.; Trejo, T. L. I.; Avitia, G. E. y Valdez, A. L. A. 2018. Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de Zinc. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(8):1591-1601.
- Patil, B. C.; Hosamani, R. M.; Ajjappalavara, P. S.; Naik, B. H., Smitha, R. P. and Ukkund, K. C. 2008. Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Karnataka J. Agric. Sci.* 21(3):428-430.
- Perea, P. E.; Ojeda, B. D. L.; Hernández, R. O. A.; Escudero, A. D. J.; Martínez, T. J. J. y López, O. G. R. 2010. El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero. *Tecnociencia Chihuahua.* 4(2):64-71.
- Pingoliya, K. K.; Dotaniya, M. L. and Lata, M. 2014. Effect of iron on yield, quality and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 9(37):2841-2845.
- Rizwan, M.; Ali, S.; Hussain, A.; Ali, Q.; Shakoor, M. B.; Zia-ur, R. M. and Asma, M. 2017. Effect of zinc-lysine on growth, yield and cadmium uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and health risk assessment. *Chemosphere.* 187(5):35-42.

- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. and Colla, G. 2008. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environ. Exp. Bot.* 63(1-3):49-58.
- Rui, M.; Ma, C.; Hao, Y.; Guo, J.; Rui, Y., Tang, X. and Zhu, S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Sci.* 815(7):01-10.
- Santos, C. M.; Segura, A. M. y Núñez, L. C. E. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Facultad Nacional de Agronomía-Medellín.* 1(63):5253-5266.
- Sathiyamurthy, V. A.; Shanmugasundaram, T.; Rajasree, V. and Arumugam, T. 2017. Effect of Foliar Application of Micronutrients on Growth, Yield and Economics of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Madras Agric. J.* 104 (4-6):188-193.
- Soetan, K. O.; Olaiya, C. O. and Oyewole, O. E. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants-A review. *Afr. J. Food Sci.* 4(5):200-222.
- Valentinuzzi, F.; Mason, M.; Scampicchio, M.; Andreotti, C.; Cesco, S. and Mimmo, T. 2015. Enhancement of the bioactive compound content in strawberry fruits grown under iron and phosphorus deficiency. *J. Sci. Food Agric.* 95(10):2088-2094.
- Vinit-Dunand, F.; Epron, D.; Alaoui-Sossé, B. and Badot, P. M. 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Sci.* 163(1):53-58.
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1):145-156.