

Producción de tomate bajo condiciones protegidas con aplicaciones foliares de nanopartículas metálicas

Juan Martín Olivarez-Rodríguez²

Patricio Apáez-Barrios^{1,5}

Yurixhi Atenea Raya-Montaño³

Maricela Apáez-Barrios¹

1 Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Prolongación de la calle Mariano Jiménez s/n, Col. El Varillero, Apatzingán, Michoacán, México. CP. 60670. Tel. 453 5341675. (maricela.apaez@umich.mx).

2 Maestría interinstitucional en agricultura protegida-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Prolongación de la calle Mariano Jiménez s/n, Col. El Varillero, Apatzingán, Michoacán, México. CP. 60670. Tel. 453 5341675 (9203503k@umich.mx).

3 Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez"-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas s/n, esq. Berlín, Colonia Viveros, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60190. Tel. 452 5236474. (yurixhi@umich.mx).

Autor para correspondencia: patricio.apaez@umich.mx

Resumen

El tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) es la hortaliza de mayor importancia a nivel mundial por volúmenes de producción, que deberá seguir aumentando para satisfacer la necesidad de consumo futuro. Al respecto, el uso de la nanotecnología podría efficientar y mejorar el aporte de nutrientes a las plantas y aumentar la producción agrícola. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de Zn, Cu y Fe, sobre la producción y calidad del tomate. En el año 2021 se estableció el cultivo de tomate tipo roma en agricultura protegida. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar individual y en combinación de nanopartículas de Zn, Fe, Cu, Zn+Fe, Zn+Cu, Fe+Cu, Zn+Fe+Cu, más un testigo sin aplicación. Se encontró que la aplicación individual de las nanopartículas no mejoró la producción de tomate; sin embargo, el suministro combinado aumentó el rendimiento. La mayor producción se registró con Zn+Fe+Cu, que fue 66% superior a las plantas del testigo, con este tratamiento también aumentó al doble el contenido de licopeno (2.23 mg g⁻¹ de materia seca). Las nanopartículas aumentaron el contenido nutrimental dentro del límite máximo permitido para consumo. Por lo que la aplicación de nanopartículas de micronutrientes suministradas en combinación es una alternativa viable para mejorar el rendimiento y la calidad del tomate.

Palabras clave:

Solanum lycopersicum, contenido nutrimental, contenido de licopeno.

Introducción

Los frutos de tomate son parte integral de la dieta de las personas alrededor del mundo, se caracterizan por ser fuente importante de vitamina C, potasio, ácido fólico, flavonoides, entre otros elementos (Perveen *et al.*, 2015). El consumo de tomate está en constante crecimiento, pero la ralentización en el incremento del rendimiento debido a que los recursos naturales como el suelo, el agua y la fertilidad del suelo son limitados, puede ocasionar que no se produzca la cantidad necesaria para satisfacer la demanda de la población que seguirá en crecimiento (FAO, 2017).

Asimismo, el uso indiscriminado de fertilizantes minerales ha contribuido al aumento en el rendimiento, pero también ha provocado emisión de gases con efecto invernadero, eutrofización del agua, acidificación de los cuerpos de agua, incremento en la salinidad de los suelos y pérdida de la biodiversidad de microorganismos del suelo (Skowrońska y Filipek, 2014).

De acuerdo con las tendencias y desafíos de la alimentación y la agricultura, es necesario buscar alternativas amigables con el ambiente, innovaciones que permitan seguir aumentando la producción de alimentos de acuerdo con la demanda futura (FAO, 2017). En este sentido, la nanotecnología se considera como la quinta tecnología revolucionaria del siglo después de la biotecnología, que investiga, manipula, caracteriza y usa partículas con tamaños entre 1 a 100 nm, que en la actualidad están mostrando utilidad en la medicina, la biología, la química, la física, las ciencias de los materiales, el ambiente y la agricultura (Chhipa, 2017).

Actualmente existen nanopartículas de Ag, Si, Ti, Mn, Mo, Cu, Zn y Fe, formuladas como óxidos (Chhipa, 2017). De estos elementos químicos, algunos son esenciales en la nutrición de las plantas (Zulfiqar *et al.*, 2019). En áreas destinadas al cultivo de hortalizas en la mayoría de los casos, se tienen suelos con deficiencias en Zn, Cu y Fe (Liu y Lal, 2015). Comúnmente estos micronutrientes son agregados en proporciones bajas a los fertilizantes de N, P y K, pero su disponibilidad es limitada. La aplicación de micronutrientes en forma de nanopartículas podría incrementar su eficiencia para mejorar el rendimiento agrícola y adicionalmente, actuar como productos de fortificación en la alimentación humana (Liu y Lal, 2015).

Las nanopartículas tienen la capacidad para entrar a la planta cuando son aplicadas de manera foliar o al suelo, debido a su pequeño tamaño (< 100 nm), presentan mayor área de superficie y reactividad (Zulfiqar *et al.*, 2019). Asimismo, muestran gran solubilidad (Morales-Díaz *et al.*, 2017), adsorción y disponibilidad para la planta; se reducen las pérdidas y aumenta la eficiencia en su utilización (Zulfiqar *et al.*, 2019).

En algunas ocasiones a altas dosis (>100 ppm) la aplicación de estos productos genera efectos negativos en la acumulación de biomasa (Liu y Lal, 2015; Seleiman *et al.*, 2020). Por lo que es necesario evaluar la aplicación a dosis bajas para evitar problemas de fitotoxicidad (Hafeez *et al.*, 2013; Van-Nguyen *et al.*, 2022). Asimismo, es posible potencializar el efecto de las nanopartículas metálicas si se suministran combinadas (Zulfiqar *et al.*, 2019).

En tomate son escasos los estudios sobre la aplicación de nanopartículas a dosis bajas y combinadas de nanopartículas metálicas y el contenido elemental en el fruto, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de Zn, Cu y Fe, suministradas de manera individual y combinadas sobre la producción de tomate, contenido nutrimental y calidad de la producción.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Apatzingán, Michoacán, México; localizado a 19° 04' 56" latitud norte y -102° 22' 15" de longitud oeste a 325 m de altitud. El clima del lugar es BSh'g, que es seco estepario muy cálido (García, 2004).

Genotipo experimental

Se utilizó tomate tipo roma o saladette de crecimiento determinado variedad Primus de la empresa United Genetics, que presenta precocidad, resistencia a *Fusarium*, frutos con buena firmeza y de color rojo intenso (Hortalizas AMBA, 2017).

Condiciones de cultivo, preparación del terreno y trasplante

El estudio se realizó bajo condiciones de agricultura protegida, se utilizó una estructura de 10 m x 40 m, con malla de polietileno color negro, sombra al 30% y paredes de malla antiáfida de 25 x 25 hilos pulgada⁻¹. Dentro de esta estructura se realizó un barbecho y dos pasos de rastra. Posteriormente, se hicieron camas con separación de 1.2 m. Después se colocaron cintillas y sobre ellas se instaló acolchado plástico color plata/negro.

El 19 de diciembre de 2021 se aplicó un riego para dejar el suelo a capacidad de campo. Al día siguiente se realizó el trasplante al suelo de plántulas de tomate sin injertar a distancias entre plantas de 0.4 m y distancias entre camas de 1.2 m, una sola hilera por cama.

Riegos y fertilización

El suministro de agua y la nutrición del tomate se realizó de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo y se consideró el aporte nutrimental del suelo y el agua utilizada para el riego y para la preparación de la solución nutritiva. Mediante fertirrigación se aplicaron (kg ha⁻¹) 113 de N, 50 de P₂O₅, 110 (K₂O), 4 Fe, 2 de Mn y 0.7 B, como nitrato de potasio (13N-37K₂O), Urea (45N), ácido fosfórico (32P), fosfato de potasio (23P-24K), Tradecorp AZ[®] (7.5Fe + 0.65B + 3.5Mn) y TRADEBOR[®] (15.4 B).

La fertirrigación se suministró dos veces por semana, a la conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) CE= 1 (etapa vegetativa), CE= 1.5 a 2 (floración a inicio de fructificación) y de 2 a 2.5 (inicio de fructificación a cosecha). La solución nutritiva se inyectó a un pH de 6, que se logró con la adición de ácido fosfórico al 85%. Los fertilizantes se pesaron en una báscula portátil marca Electronic Kitchen Scale, modelo SF-400.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de las nanopartículas (NP's) formuladas como ZnO, Fe₂O₃ y CuO, suministrados de manera individual y en combinación: Zn, Fe, Cu, Zn+Cu, Zn+Fe, Cu+Fe, Zn+Cu+Fe y un testigo sin aplicación dando un total de ocho tratamientos. La concentración de aplicación fue de 10 ppm de ingrediente activo de cada nanopartícula.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, lo que generó 32 unidades experimentales. El ZnO, utilizado presentó una concentración de 79.7% y tamaño de partícula de 67 nm. El Fe₂O₃ a la concentración de 69.3%, con tamaño de partículas de 27 nm. Mientras que el CuO estaba a la concentración de 78.8% y con tamaño de partícula de 40 nm.

Se iniciaron las aplicaciones de los tratamientos a los 14 días después del trasplante (DDT). Las nanopartículas fueron disueltas en agua destilada y adicionalmente se agregó adherente Inex-A[®] a 1 ml L⁻¹. Las aplicaciones se realizaron por la mañana hasta punto de goteo, con aspersores manuales (318055 Pacto/SWISSMEX[®]). Las aplicaciones se realizaron cada 14 días, en total fueron siete aplicaciones durante el ciclo del cultivo.

Variables de respuesta

De cada unidad experimental se tomaron seis plantas como parcela útil, en las cuales se registraron las variables de respuesta. En la etapa productiva se realizaron los cortes de frutos conforme llegaron a la madurez de cosecha y se determinó el rendimiento de frutos por planta (kg planta⁻¹), el número de frutos por planta, el peso promedio de frutos, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial.

Se determinó el contenido de licopeno en los frutos en madurez de cosecha con el método descrito en Fernández *et al.* (2007). También en frutos se realizó la determinación del contenido nutrimental de acuerdo con el método 2006.03 de la AOAC (2005).

Análisis estadístico

A lo datos de las variables de respuesta se les aplicó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS, versión 9.4. Cuando las pruebas de F resultaron significativas ($p < 0.05$) se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) (SAS, 2017).

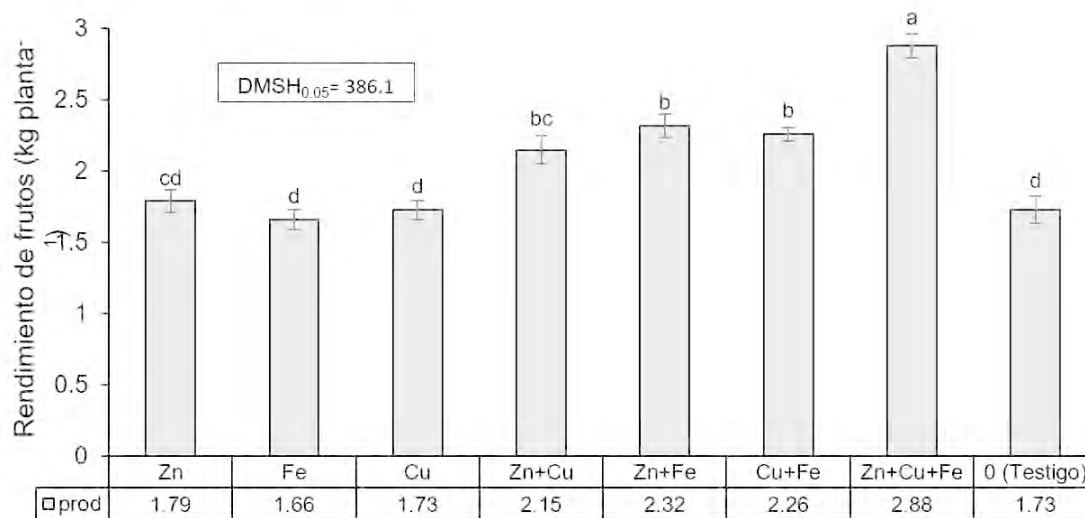
Resultados y discusión

Rendimiento de fruto y componentes del rendimiento

Se encontró que la aplicación individual de las nanopartículas no favoreció el incremento en el rendimiento (kg planta^{-1}) comparado con las plantas del testigo sin aplicación. Sin embargo, cuando se suministraron en combinaciones de dos o tres nanopartículas, la producción de frutos por planta se incrementó de manera altamente significativa ($p \# 0.01$).

Con el suministro de Zn+Cu, Zn+Fe y Cu+Fe se logró aumentar de 24.5 a 34.3% más de rendimiento respecto a las plantas del testigo sin aplicación, al registrar valores de 2.15 a 2.32 kg planta^{-1} . Mientras que con Zn+Cu+Fe, las plantas presentaron la mayor producción de 2.88 kg planta^{-1} , que fue 66% superior al rendimiento de frutos de las plantas sin aplicación (Figura 1).

Figura 1. Rendimiento de tomate en función de la aplicación foliar de nanopartículas suministradas solas y combinadas. $\text{DMSH}_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error.



El incremento en el rendimiento de tomate con aplicación foliar combinada de nanopartículas fue provocado por el aumento en la cantidad de frutos por planta; en este caso, también fue con el suministro de Zn+Cu+Fe con el que las plantas presentaron la mayor cantidad de frutos (Cuadro 1). Con cualquier tratamiento, las plantas produjeron frutos con similar peso promedio, diámetro ecuatorial y diámetro polar (Cuadro 1). Sin diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$).

Cuadro 1. Nivel de significancia y prueba de comparación de medias del número de frutos por planta (NFP), peso promedio de frutos (PPF), diámetro polar (DP) y diámetro ecuatorial (DE) de frutos de tomate en función de la aplicación foliar de nanopartículas.

Tratamiento	NFP (Núm. planta ⁻¹)	PPF (g planta ⁻¹)	DE (mm)	DP (mm)
Zn	26.67 de [†]	66.26 a	45.96 a	53.97 a
Fe	21.75 e	60.78 a	45.07 a	53.85 a
Cu	29.17 cde	63.38 a	46.28 a	54.05 a
Zn+Cu	29.67 cd	62.13 a	45.78 a	55.31 a
Zn+Fe	42 b	64.73 a	45.7 a	54.78 a
Cu+Fe	35.83 bc	55.71 a	44.66 a	51.71 a
Zn+Cu+Fe	52.17 a	65.06 a	46.57 a	56.47 a
Testigo	26.56 cd	65.76 a	46.27 a	56.94 a
Media	32.98	62.48 a	45.7 8	54.64
Prob F	**	ns	ns	ns
DMSH _{0.05}	7.88	12.29	5.23	6.31
CV %	10.07	8.3	9.8	9.8

[†] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). ** = $p \leq 0.01$; ns = no significativo ($p \geq 0.05$). DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta.

La falta de respuesta en el rendimiento y componentes del rendimiento de tomate con la aplicación individual de nanopartículas puede atribuirse a la baja concentración a la que se aplicaron (10 ppm). Esto difiere de lo indicado por Van-Nguyen *et al.* (2022); Hafeez *et al.* (2013) quienes señalan que las plantas pueden responder de manera positiva a la aplicación de nanopartículas de micronutrientes a concentraciones inclusive menores a 10 ppm, como ocurre en *Phoenix dactylifera*, *Zea mays*, *Cicer arietinum*, *Vigna unguiculata*, *Spinacia oleracea* que aumentaron su rendimiento. Mientras que en *Pisum sativum*, *Glycine max.*, *Cucumis sativus*, *Arachis hypogaea*, entre otros, la respuesta positiva se logró a concentraciones mayores de 10 ppm (Chhipa, 2017).

La respuesta positiva de la aplicación conjunta de nanopartículas podría atribuirse a un efecto acumulativo de las funciones de los micronutrientes en la planta, se menciona que estos elementos son importantes para maximizar la productividad de los cultivos. El zinc es cofactor de varias enzimas, está involucrado en la regulación de auxinas, el metabolismo de proteínas y la biosíntesis de carbohidratos (Seleiman *et al.*, 2020). Mientras que el Cu, es constituyente de proteínas reguladoras involucradas en la fotosíntesis y la respiración y es cofactor de antioxidantes (Rai *et al.*, 2018).

En el caso de Fe, es un micronutriente involucrado en la síntesis de clorofila, ADN, estructura de los cloroplastos, la respiración y varias rutas metabólicas (Seleiman *et al.*, 2020). Estas funciones pueden explicar la respuesta positiva en la producción de tomate con la aplicación combinada de estas nanopartículas en el presente estudio.

Contenido nutrimental

El Cuadro 2, que presenta el contenido nutrimental de los frutos de tomate se observa que existieron diferencias estadísticas significativas ($p \neq 0.05$) en el contenido de K, Ca y altamente significativas ($p \neq 0.01$) en Fe, Zn y Cu a causa de los tratamientos. Mientras que el contenido de N, P, Mg y S no se modificó estadísticamente por los tratamientos (Cuadro 2).



Cuadro 2. Contenido nutrimental en frutos frescos de tomate en función de la aplicación de nanopartículas de metales pesados.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu
	(%)						(ppm)		
Zn	3.46 a [†]	0.52 a	3.9 bc	0.06 b	0.2 a	0.23 a	63.2 cd	43.1 bc	7.88 b
Fe	3.17 a	0.46 a	3.73 c	0.08 ab	0.18 a	0.22 a	63.1 cd	45 b	4.71 e
Cu	3.23 a	0.48 a	4.15 abc	0.14 a	0.19 a	0.21 a	88.4 b	50.1 a	9.68 a
Zn+Cu	3.28 a	0.49 a	4.51 a	0.08 ab	0.2 a	0.22 a	121 a	55.4 a	5.39 de
Zn+Fe	3.33 a	0.55 a	4.36 ab	0.04 b	0.21 a	0.24 a	75.5 bc	38.2 c	6.89 d
Cu+Fe	3.32 a	0.51 a	3.81 bc	0.08 ab	0.2 a	0.23 a	57 d	39.8 bc	5.82 a
Zn+Cu +Fe	3.2 a	0.47 a	4.1 abc	0.15 a	0.18 a	0.18 a	79 b	51.6 a	9.55 a
Testigo	3.25 a	0.53 a	3.93 bc	0.1 b	0.18 a	0.23 a	58 d	40.5 bc	5.34 de
Media	3.28	0.51	4.06	0.09	0.19	0.22	75.6	45.3	6.91
Prob F	ns	ns	.	.	ns	ns
DMSH _{0.05}	0.49	0.26	0.56	0.08	0.13	0.01	14.9	5.3	0.92
CV %	5.14	8.2	4.8	9.14	13.6	5.64	6.85	4.07	4.64

[†] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$). * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$; ns = no significativo ($p \geq 0.05$). DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta.

Los frutos que presentaron de los contenidos mayores de K fueron los cosechados en las plantas con suministro de Zn+Cu, Zn+Fe, Cu y Zn+Cu+Fe, mientras que el Ca estuvo en mayores concentraciones en los frutos con aplicación de Cu, y Zn+Cu+Fe. En cuanto a Fe, con los tratamientos de Cu y Zn+Fe, se favoreció el contenido de este nutriente, aunque fue con Zn+Cu el tratamiento que logró los frutos con más Fe. Respecto al Zn, los mayores valores se presentaron en frutos cosechados en plantas con aspersiones foliares de Cu, Zn+Cu y Zn+Cu+Fe. Finalmente, el Cu se encontró más concentrado en los frutos de las plantas con aplicación de NP's de Cu, Cu+Fe y Zn+Cu+Fe con valores de 5.82 a 9.68 ppm (Cuadro 2).

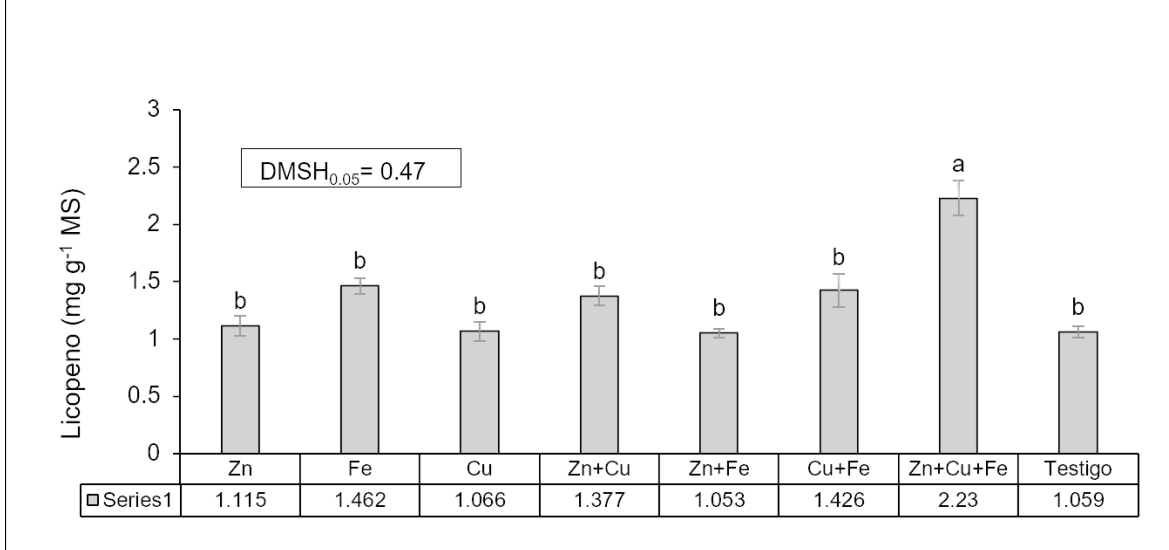
Esto indica que con el suministro de NP's de Zn+Fe+Cu, además de ser el tratamiento que generó el mayor rendimiento de frutos y número de frutos por planta, también presentó de los mayores contenidos de nutrientes (Cuadro 2). A pesar de estos incrementos, los niveles registrados en los frutos de tomate con cualquiera de los tratamientos están dentro de los límites permitidos para el consumo humano a cualquier edad y género de acuerdo con NIH (2022), por lo que son alimentos seguros y biofortificados.

Contenido de licopeno

En los frutos de las plantas con suministro Zn+Cu+Fe se registraron incrementos significativos en el contenido de licopeno, que representó un aumento de poco más del doble (105%) en el contenido respecto a los frutos de las plantas del testigo sin aplicación (Figura 2).



Figure 2. Contenido de licopeno en tomate en función de la aplicación foliar de nanopartículas. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error.



En nuestro estudio se logró duplicar el contenido de licopeno con el suministro conjunto de las tres nanopartículas. Resultados similares encontraron Raliya *et al.* (2015) en tomate que con aplicación al suelo y foliar de nanopartículas de ZnO a la dosis de 100 ppm registraron incremento en el contenido de licopeno de 113.1% en comparación con el testigo sin aplicación. Aunque los mecanismos por medio de los cuales se induce el estímulo en la síntesis de licopeno aún son desconocidos (Raliya *et al.*, 2015).

La respuesta de las plantas a la aplicación de nanopartículas está influenciada por factores como la naturaleza de las partículas, la interacción de las nanopartículas con el medio ambiente y la condición fisiológica de la planta, así como por la edad de la planta y la dosis (Ahmed *et al.*, 2021). De igual manera, El-Raie *et al.* (2015) mencionan que la aplicación de NP's de Fe en tomate promovió el incremento de licopeno; por tanto, en el tratamiento en donde se aplicó NP's de Zn +Cu+Fe, la respuesta favorable en el incremento de este compuesto pudo ser en parte atribuida a este elemento, ya que el Fe tiene la función de activar el sistema antiestrés de la planta y las rutas de metabolización de licopeno.

El cual pudo tener un efecto sinérgico en la síntesis de licopeno cuando se suministró con Zn y Cu, ya que los tres nutrientes participan en el sistema antiestrés de la planta (Karuppanapandian *et al.*, 2011). Los contenidos de licopeno en los frutos de tomate con la mayoría de los tratamientos aplicados en el presente estudio son similares a los registrados por Górecka *et al.* (2020) quienes en la variedad Grandimat registraron 1.18 mg g⁻¹ de materia seca de fruto maduro. Sin embargo, es un contenido menor al registrado en el presente estudio con la aplicación de Zn+Cu+Fe, lo que indica la ventaja de este tratamiento para mejorar la calidad funcional de los frutos de tomate.

Conclusiones

La aplicación foliar individual de nanopartículas de Zn, Fe y Cu no mejoraron la producción de tomate; sin embargo, el suministro combinado de los tres minerales incrementó el rendimiento y número de frutos. Con Zn+Fe+Cu se logró también los mayores contenidos de licopeno. Las nanopartículas provocaron incrementos en el contenido de micronutrientes en los frutos de tomate. Los niveles de macros y micronutrientes en frutos con aplicación de nanopartículas están dentro de los límites permitidos para consumo humano. Por lo que el suministro de Zn+Cu+Fe es recomendable para mejorar la producción y calidad de tomate bajo condiciones de agricultura protegida con malla sombra.

Agradecimientos

Los autores(as) expresamos nuestro agradecimiento a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el recurso económico brindado mediante el proyecto de investigación de la convocatoria del año 2022.

Bibliografía

- 1 Ahmed, R.; Yusoff-Abd, S. M.; Uddin, M. K.; Quddus, M. A. and Hossain, M. A. M. 2021. Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient in tomato production. *Agronomy*. 11(10):1-15. Doi.org/10.3390/agronomy11102074.
- 2 AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18th Ed. AOAC international, Gaithersburg, MD. Method 2006. 03:1-13 pp.
- 3 Chhipa, H. 2017. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environ. Chem. Lett.* 15(1):15-22. Doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4.
- 4 El-Raie, A.; Hassan, H. E.; El-Rahman, A. A. and Arafat, A. A. 2015. Response of tomato plants to different rates of iron nanoparticles spraying as foliar fertilization. *Misr J. Agric. Eng.* 32(3):1295-1312. Doi.org/10.21608/mjae.2015.98629.
- 5 FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The future of food and agriculture Trends and challenges*. Rome. 9-20 pp. <https://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf> .
- 6 Fernández, C.; Pitre, A.; Llobregat, M. J. y Rondón, Y. 2007. Evaluación del contenido de licopeno en pastas de tomate comerciales. *Inf. Tecnol.* 18(3):31-38. Doi.org/10.4067/S0718-07642007000300005.
- 7 García, E. A. 2004. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. 90 p.
- 8 Górecka, D.; Wawrzyniak, A.; J#drusek-Goli#ska, A.; Dziedzic, K.; Hamu#ka, J.; Kowalczewski, P. L. and Walkowiak, J. 2020. Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open chem.* 18(1):752-756. Doi.org/10.1515/chem-2020-0050.
- 9 Hafeez, B. M. K. Y.; Khanif, Y. M. and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition a review. *Am. J. Exp. Agric.* 3(2):374-391.
- 10 Hortalizas A. 2017. *Tomato primus*. 1 p. <http://www.semillasmexico.com/wp-content/uploads/2017/04/PRIMUS-LF.pdf>.
- 11 Karuppanapandian, T.; Moon, J. C.; Kim, C.; Manoharan, K. and Kim, W. 2011. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Aust. J. Crop Sci.* 5(6):709-725.
- 12 Liu, R. and Lal, R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ.* 514(1):131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104> .
- 13 Morales-Díaz, A. B.; Ortega-Ortíz, H.; Juárez-Maldonado, A.; Cadenas-Pliego, G.; González-Morales, S. and Benavides-Mendoza, A. 2017. Application of nanoelements in plant nutrition and its impact in ecosystems. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 8(1):013001.
- 14 NIH. 2022. National Institutes of Health. *Dietary Reference Intakes (DRI). Tolerable upper intake levels, elements*. food and nutrition board, national. Academies. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ-tab9/?report=objectonly> .
- 15 Perveen, R.; Suleria, H. A. R.; Anjum, F. M.; Butt, M. S.; Pasha, I. and Ahmad, S. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims a comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 55(7):919-929. Doi.org/10.1080/10408398.2012.657809.

- 16 Rai, M.; Ingle, A. P.; Pandit, R.; Paralikar, P.; Shende, S.; Gupta, I. and Silva, S. S. 2018. Copper and copper nanoparticles: role in management of insect pests and pathogenic microbes. *Nanotechnol. Rev.* 7(4):303-315. [Doi.org/10.1515/ntrev-2018-0031](https://doi.org/10.1515/ntrev-2018-0031).
- 17 Raliya, R.; Nair, R.; Chavalmane, S.; Wang, W. N. and Biswas, P. 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics.* 7(12):1584-1594. [Doi.org/10.1039/c5mt00168d](https://doi.org/10.1039/c5mt00168d).
- 18 SAS. 2017. *Statistical Analysis Systems. SAS/STAT User's guide, version 9.4.* SAS Institute Inc. North Caroline, USA.
- 19 Seleiman, M. F.; Almutairi, K. F.; Alotaibi, M.; Shami, A.; Alhammad, B. A. and Battaglia, M. L. 2020. Nano fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use. *Plants.* 10(2):1-27.
- 20 Skowrońska, M. and Filipek, T. 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *Int agrophys.* 28(1):101-110.
- 21 Van-Nguyen, D.; Mai-Nguyen, H.; Thanh-Le, N.; Huu-Nguyen, K.; Thi-Nguyen, H.; Mai-Le, H.; Trung-Nguyen, A.; Thu-Dinh, N. H.; Anh-Hoang, S. and Van-Ha, C. 2022. Copper nanoparticle enhances plant growth and grain yield in maize under drought stress conditions. *J. Plant Growth Reg.* 41(1):364-375. [Doi.org/10.1007/s00344-021-10301-w](https://doi.org/10.1007/s00344-021-10301-w).
- 22 Zulfiqar, F.; Navarro, M.; Ashraf, M.; Akram, N. A. and Munné-Bosch, S. 2019. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: advantages and limitations. *Plant Sci.* 289(1):1-11. [Doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270).



Producción de tomate bajo condiciones protegidas con aplicaciones foliares de nanopartículas metálicas

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2024
Date accepted: 01 March 2024
Publication date: 02 May 2024
Publication date: Apr-May 2024
Volume: 15
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3667
DOI: 10.29312/remexca.v15i3.3667

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Solanum lycopersicum
contenido nutrimental
contenido de licopeno

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 0

References: 22

Pages: 0