

Aplicación foliar suplementaria de Boro, Manganeso y Molibdeno como inductores de crecimiento, rendimiento y concentración de fitoquímicos en el cultivo de tomate

Supplementary foliar application of Boron, Manganese and Molybdenum as inducers of growth, yield and phytochemicals concentration in tomato crops

Mariana Isabel García-Terrazas¹, Adalberto Benavides-Mendoza², Susana González-Morales³, Julia Medrano-Macías² and Marcelino Cabrera-De La Fuente^{2*}

¹ Estudiante de Postgrado. Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo 23315, Coahuila, México.

² Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo 23315, Coahuila, México.

³ Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo 23315, Coahuila, México.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of supplementary foliar application of liquid commercial products of B⁺³ (Basfoliar[®] with 13 % B), Mn⁺² (CRECITEC Mn[®] with 5 % Mn) and Mo⁺⁶ (MOLIBION[®] with 9.2 % Mo) on tomato yield and phytochemicals. The treatments were: B⁺³ (1 mL L⁻¹), Mn⁺² (2 mL L⁻¹), Mo⁺⁶ (1.5 mL L⁻¹), their interactions (B⁺³+Mn⁺², B⁺³+Mo⁺⁶, Mn⁺²+Mo⁺⁶, and B⁺³+Mn⁺²+Mo⁺⁶) and a control, applied every 15 days after transplantation. A randomized complete block design with eight treatments and 10 repetitions was used. The application of the microelements did not modify the yield. For plant height all treatments exceeded the control except for B⁺³ and Mn⁺². The Mo⁺⁶ treatment increased the dry biomass. In fruit, Mn increased proteins, B⁺³+Mo⁺⁶ and Mn⁺²+Mo⁺⁶ decreased phenols, B⁺³, Mo⁺² and Mn⁺²+Mo⁺⁶ increased flavonoids, and B⁺³+Mn⁺² and Mn⁺²+Mo⁺⁶ decreased glutathione. B⁺³+Mo⁺⁶ increased lycopene, but decreased β-carotene. Regarding lipophilic antioxidant capacity of the fruit, it was increased by B⁺³+Mn⁺² and decreased by B⁺³+Mo⁺⁶. This study shows that the supplementary application of these microelements is an alternative to increase phytochemicals in crops, without affecting yields.

Keywords: nutrition; micronutrients; yield, growth; phytochemicals.

RESUMEN

En el estudio se evaluó la aplicación foliar suplementaria de productos comerciales líquidos de B⁺³ (Basfoliar[®] con 13 % de B), Mn⁺² (CRECITEC Mn[®] con 5 % de Mn) y Mo⁺⁶ (MOLIBION[®] con 9.2 % de Mo) sobre el rendimiento y fitoquímicos de tomate. Los tratamientos fueron: B⁺³ (1 mL L⁻¹), Mn⁺² (2 mL L⁻¹), Mo⁺⁶ (1.5 mL L⁻¹), sus interacciones (B⁺³+Mn⁺², B⁺³+Mo⁺⁶, Mn⁺²+Mo⁺⁶ y B⁺³+Mn⁺²+Mo⁺⁶) y un testigo cada 15 d después del trasplante. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos y 10 repeticiones. Los tratamientos no modificaron el rendimiento, sin embargo, B⁺³+Mo⁺⁶ mejoró el diámetro ecuatorial del fruto. Para altura de planta los tratamientos superaron al control a excepción de B⁺³ y Mn⁺², y el número de hojas se incrementó con Mn⁺² y

Mo⁺⁶. El tratamiento de Mo⁺⁶ aumentó el peso seco total. En fruto, Mn incrementó las proteínas, B⁺³+Mo⁺⁶ y Mn⁺²+Mo⁺⁶ disminuyeron los fenoles, B⁺³, Mo⁺⁶ y Mn⁺²+Mo⁺⁶ aumentaron los flavonoides y B⁺³+Mn⁺² y Mn⁺²+Mo⁺⁶ disminuyeron el glutatión. B⁺³+Mo⁺⁶ incrementó licopeno, pero disminuyó el β-caroteno. Para capacidad antioxidante lipofílica, B⁺³+Mn⁺² la incrementó y B⁺³+Mo⁺⁶ la disminuyó. La aplicación suplementaria de estos microelementos es adecuada para incrementar fitoquímicos en cultivos, sin afectar rendimientos.

Palabras clave: nutrición; micronutrientes; rendimiento; crecimiento; fitoquímicos.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el segundo cultivo de mayor importancia es el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), siendo sus frutos una fuente de fitoquímicos como; carotenoides, vitaminas y fenoles que benefician la salud humana, aunado a que es considerado como un fruto objetivo para realizar investigaciones con el fin de optimizar sus propiedades alimenticias (FAO, 2013). Es bien sabido que el consumo en fresco y de productos derivados de esta hortaliza es seguro y destacan por tener un alto valor nutricional, sobresaliendo sus actividades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas (Salehi *et al.*, 2019). Desafortunadamente el estrés afecta el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo (Bai *et al.*, 2018).

Se ha demostrado que la aplicación foliar suplementaria de microelementos es una alternativa prometedora, ya que incrementan el rendimiento de los cultivos, fungen como cofactores de enzimas y son imprescindibles en diferentes rutas metabólicas (Wenda-Piesik *et al.*, 2017). Dentro de los microelementos están el boro (B), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo).

El B, participa en el metabolismo de los glúcidos y en procesos encargados de la división celular (Gupta y Solanki, 2013), aunado a que mejora el cuajado de frutos (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018). Islam *et al.* (2018) mencionan que con la aplicación foliar de H₃BO₃ al 4.85 mM se incrementó la firmeza y la concentración de ácido cítrico y ácido ascórbico en frutos

*Autor para correspondencia: M. Cabrera-De La Fuente
Correo-e: cafum7@yahoo.com.mx

Recibido: 31 de mayo de 2023

Aceptado: 9 de abril de 2024

Publicado: xx de abril de 2024

de tomate cherry. El Mn, se desempeña como activador y cofactor de enzimas, además ejerce un papel importante en la fotosíntesis (Schmidt y Husted, 2019). Hamouda *et al.* (2016) indican que con la aplicación foliar de MnSO_4 (1600 mg L⁻¹) en granado se incrementó el rendimiento, azúcares, antocianinas y ácido ascórbico de la fruta. El Mo es cofactor de la enzima nitrato reductasa, la cual está involucrada en la asimilación del nitrógeno (N) (Rana *et al.*, 2020), además, forma parte de la nitrogensa más estudiada; la molibdeno-dependiente, la cuál lleva a cabo la fijación biológica del N (Westermann, 2005). Ghafarian *et al.* (2013) aplicaron Mo en trigo bajo estrés por sequía e, indican que la aplicación al 1 % de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ aumento el peso del grano, la longitud del pedúnculo y el número de grano por espiga.

En este contexto, la fertilización foliar suplementaria es una técnica que se está utilizando para mejorar características agronómicas y de calidad de los cultivos, ya que se basa en hacer aplicaciones en sistemas donde no existen deficiencias nutrimentales, lo cual se cree que genera un ligero estrés en las plantas que promueve la síntesis de antioxidantes como medida de defensa (Rodrigues *et al.*, 2021). Aunado a esto, dichos elementos (B, Mn y Mo) están involucrados en procesos para llevar a cabo la fotosíntesis, proceso mediante el cual, se sintetizan los carbohidratos y, estos a su vez, son precursores de fitoquímicos (ácido ascórbico, fenoles, flavonoides, etc.) (Kollist *et al.*, 2019). Esto indica que dichos elementos están involucrados directa o indirectamente en la acumulación de fitoquímicos. De acuerdo con lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar la aplicación foliar suplementaria de productos comerciales de B, Mn y Mo como inductores de crecimiento, rendimiento y fitoquímicos en tomate

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de trabajo

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de mediana tecnología, ubicado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de tomate saladette de crecimiento indeterminado del híbrido el CID F1 de la casa comercial Harris Moran Seed Company, Modesto, CA, USA. Se sembraron en charolas de poliestireno con una combinación de peat moss y perlita (70:30 v/v). Las plántulas se mantuvieron en charolas por 30 días, para después trasplantarlas en bolsas de poliestireno negro con capacidad de 10 L con la misma relación de sustrato utilizada para la germinación de las semillas. Para la nutrición del cultivo se utilizó la solución nutritiva Steiner (1961), la cual se aplicó en diferentes concentraciones para proporcionar los nutrientes necesarios al cultivo de acuerdo con su etapa fenológica. Se aplicó al 25 % al inicio del crecimiento vegetativo, al 50 % en el crecimiento vegetativo pleno, al 75 % en la floración y crecimiento de los frutos y al 100 % en el llenado de frutos y cosecha.

Tratamientos

En el experimento se evaluó el efecto de la aplicación foliar de B, Mn, Mo, sus interacciones y un control. Se utilizaron tres productos comerciales en forma líquida, donde el producto Basfoliar® contenía 13 % de B, el CRECITEC Mn® 5 % de Mn y el MOLIBION® 9.2 % de Mo. Los tratamientos se aplicaron en intervalos de 15 días después del trasplante, por medio de aplicación foliar a punto de goteo, con un aspersor manual, dando un total de seis aplicaciones, siendo la última a los 90 días después del trasplante (ddt) (Tabla 1).

Variables evaluadas

Se midió el rendimiento de frutos (de los 70 a los 120 ddt), para ello se cosecho hasta el quinto racimo, manejando cinco frutos por racimo. También se evaluó el diámetro polar y ecuatorial de los frutos (se evaluaron dos frutos por racimo de los 70 a los 120 ddt). La altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas se evaluaron al final de la prueba que fue a los 120 ddt. Se midió la acumulación de biomasa seca del vástago y raíz al final de la prueba, para ello se cortaron las plantas desde la base del tallo para separar las partes a evaluar y posteriormente secar el material en un horno a 70 °C durante 72 h. Se cuantificaron proteínas y fitoquímicos del fruto. Para estos análisis, los frutos fueron congelados y liofilizados. Para las variables relacionadas con parámetros agronómicos y bioquímicos se utilizaron cinco y cuatro réplicas, respectivamente por tratamiento.

Proteínas y fitoquímicos del fruto

El muestreo de frutos para la cuantificación de fitoquímicos se tomó del segundo racimo (91 ddt). Los frutos se muestrearon cuando alcanzaron un color rojo intenso. Las proteínas se determinaron con la metodología descrita por Bradford

Tabla 1. Tratamientos aplicados.

Table 1. Applied treatments.

Tratamiento	Descripción
TC	Agua destilada
T1	B (1 mL L ⁻¹)
T2	Mn (2 mL L ⁻¹)
T3	Mo (1.5 mL L ⁻¹)
T4	B+Mn
T5	B+Mo
T6	Mn+Mo
T7	B+Mn+Mo

Las dosis aplicadas fueron con base en las especificaciones de uso de los productos. TC: Tratamiento control.

The doses applied were based on the specifications for use of the products. TC: Control treatment.



(1976) utilizando el azul de Coomassie como agente de reacción. Los fenoles totales se determinaron de acuerdo con la metodología de Singleton *et al.* (1999) utilizando el reactivo Folin Ciocalteu al 100 %. Los flavonoides se cuantificaron siguiendo la metodología de Zhishen *et al.* (1999) mediante la técnica del cloruro de aluminio. El Glutathión se cuantificó siguiendo la metodología de Xue *et al.* (2001), mediante la reacción del ácido 5,5 ditio-bis-2 nitro benzoico. El licopeno y β -caroteno se determinaron de acuerdo con Nagata y Yamashita (1992). La capacidad antioxidante lipofílica DPPH se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Brand-Williams *et al.* (1995). Para estos análisis se utilizó un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s Uv-Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA).

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, que contó con ocho tratamientos y 10 repeticiones, dando un total de 80 unidades experimentales. Se utilizó el paquete estadístico INFOSAT 2020, donde se realizó un ANOVA y una comparación de medias con LSD FISHER $p \leq 0.10$.

RESULTADOS

Rendimiento y tamaño de frutos

La aplicación de los tratamientos no mostró diferencias para rendimiento, diámetro polar y peso promedio de frutos,

únicamente mostró resultados significativos para diámetro ecuatorial, siendo la interacción B+Mo la que superó en 5.8 % al control (Figura 1).

Variables de crecimiento

La aplicación de los tratamientos arrojó resultados significativos para las variables de: altura de planta y número de hojas (Figura 2). Respecto a la altura, los tratamientos Mo, B+Mn, B+Mo, Mn+Mo y B+Mn+Mo superaron al control en un 6.32, 7.33, 7.90, 5.43 y 7.07 %, respectivamente. Para número de hojas, se observa un incremento de 13.4 y 8.24 % con los tratamientos de Mn y Mo, respectivamente en comparación al control.

Producción de Biomasa seca

La aplicación de los tratamientos incrementó significativamente el peso seco de raíz y total (Figura 3). Para peso seco de la raíz los tratamientos Mo, B+Mn, B+Mo y Mn+Mo superaron al control en un 104.45, 47.86, 88.03 y 77.73 %, respectivamente. Para peso seco total el tratamiento de Mo superó al control en un 30.30 %.

Proteínas y fitoquímicos hidrofílicos

La aplicación de los tratamientos causó diferencias significativas sobre las proteínas, fenoles, flavonoides y GSH (Figura 4). De tal manera se aprecia, que el tratamiento de Mn superó

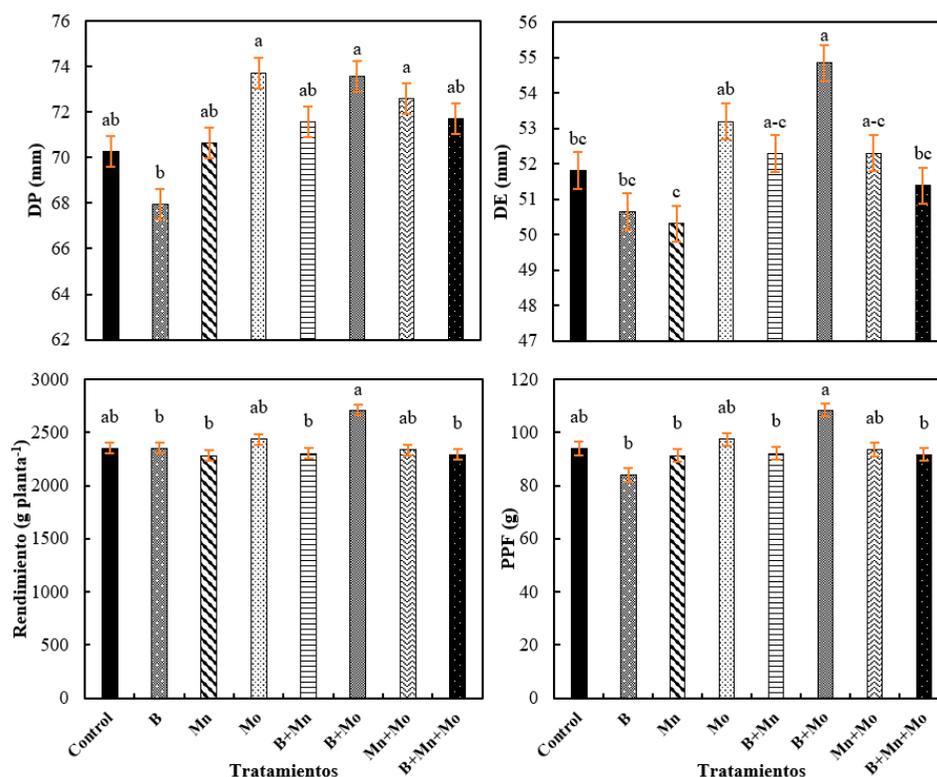


Figura 1. Diámetros y rendimiento por planta de los frutos de tomate. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.10$). DP: Diámetro polar; DE: Diámetro ecuatorial; PPF: Peso promedio de frutos. $n = 5 \pm$ error estándar.

Figure 1. Diameters and yield per tomato fruits plant. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD, $p \leq 0.10$). DP: Polar diameter; DE: Equatorial diameter; PPF: Average fruit weight. $n = 5 \pm$ standard error.

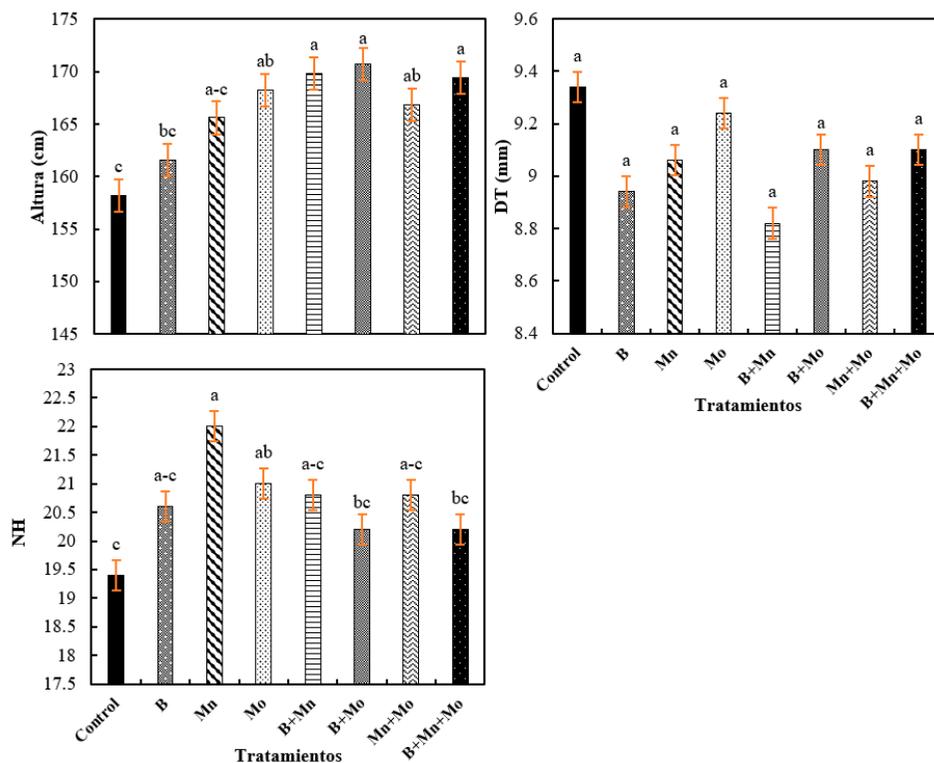


Figura 2. Variables de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.10$). DT: Diámetro de tallo; NH: Numero de hojas. $n = 5 \pm$ error estándar.
Figure 2. Growth variables. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD, $p \leq 0.10$). DT: Stem diameter; NH: Number of leaves. $n = 5 \pm$ standard error.

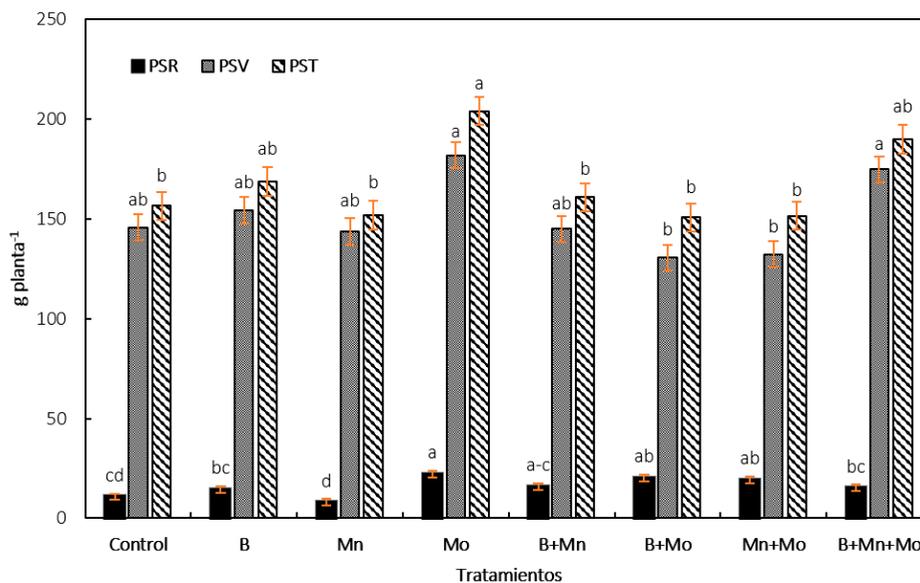


Figura 3. Producción de biomasa seca. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.10$). PSR: Peso seco de raíz; PSV: Peso seco de vástago; PST: Peso seco total. $n = 5 \pm$ error estándar.
Figure 3. Dry biomass production. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD, $p \leq 0.10$). PSR: Dry root weight; PSV: Dry offshoot weight; PST: Total dry weight. $n = 5 \pm$ standard error.

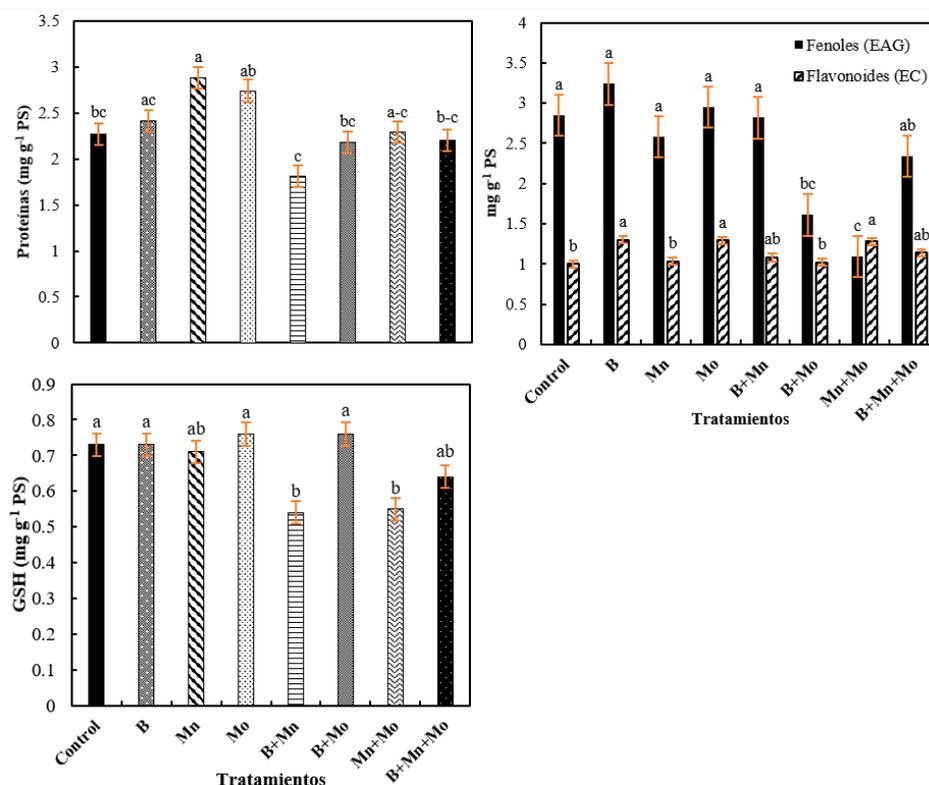


Figura 4. Proteínas y antioxidantes hidrofílicos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.10$). EAG: Equivalentes de ácido gálico; EC: Equivalentes de catequina; GSH: Glutatión reducido; PS: Peso seco. $n = 4 \pm$ error estándar.

Figure 4. Proteins and hydrophilic antioxidants. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD, $p \leq 0.10$). EAG: Gallic acid equivalents; EC: Catechin Equivalents; GSH: Reduced glutathione; PS: Dry weight. $n = 4 \pm$ standard error.

al control con un 26.8 %, respecto a la acumulación de proteínas totales. Para fenoles, B+Mo y Mn+Mo disminuyeron su concentración en comparación con el control en un 77.01 y 161.46 %, respectivamente, el resto de los tratamientos son iguales al control. Para flavonoides, B, Mo y Mn+Mo superaron al control en un 30, 29 y 28 %, respectivamente. Respecto a GSH, B+Mn y Mn+Mo disminuyeron su concentración en comparación con el control en un 35.18 y 32.72 %, respectivamente, el resto de los tratamientos son iguales al control.

Fitoquímicos lipofílicos y capacidad antioxidante

La aplicación de los tratamientos mostró diferencias significativas en cuanto al contenido de licopeno, β -caroteno y capacidad antioxidante lipofílica (Tabla 2). Los tratamientos B, Mo y B+Mo incrementaron la concentración de licopeno en comparación al control en un 12.15, 19.92 y 23.89 %, respectivamente. Respecto a la acumulación de β -caroteno, existió una disminución en su concentración con Mo y B+Mo de un 32.24 y 56.25 %, respectivamente en comparación con el control. Para capacidad antioxidante lipofílica, B+Mn la incrementó en un 122.49 %, en comparación con el control, sin embargo, B+Mo la disminuyó en un 144.81 %, en comparación con el control.

Tabla 2. Antioxidantes lipofílicos y capacidad antioxidante.
Table 2. Lipophilic antioxidants and antioxidant capacity.

Tratamiento	Licopeno (mg 100 g ⁻¹ PS)	β -Caroteno (mg 100 g ⁻¹ PS)	CAL DPPH (mg E β C g ⁻¹ PS)
Control	23.44 \pm 1.9 ^{de}	13.00 \pm 0.9 ^{ab}	23.38 \pm 7.7 ^{bc}
B	26.29 \pm 3.1 ^{bc}	10.99 \pm 1.5 ^{bc}	26.56 \pm 12.3 ^b
Mn	24.38 \pm 0.4 ^{c-e}	14.39 \pm 1.5 ^a	24.67 \pm 17.4 ^{bc}
Mo	28.11 \pm 1.4 ^{ab}	9.83 \pm 1.2 ^{cd}	27.69 \pm 9.5 ^b
B+Mn	25.63 \pm 3.1 ^{cd}	13.32 \pm 3.1 ^{ab}	52.02 \pm 1.3 ^a
B+Mo	29.04 \pm 2.9 ^a	8.32 \pm 5.1 ^d	9.55 \pm 0.7 ^d
Mn+Mo	22.43 \pm 0.8 ^e	12.66 \pm 2.2 ^{ab}	15.45 \pm 4.5 ^{cd}
B+Mn+Mo	23.85 \pm 1.2 ^{c-e}	14.19 \pm 0.7 ^a	18.92 \pm 4.0 ^{b-d}

Letras distintas dentro de cada columna representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.10$). CAL: Capacidad antioxidante lipofílica; E β C: Equivalentes de β -caroteno; PS: Peso seco. $n = 4 \pm$ error estándar. Different letters within each column indicate significant differences between treatments (LSD, $p \leq 0.10$). CAL: Lipophilic antioxidant capacity; E β C.

DISCUSIÓN

Rendimiento, crecimiento y biomasa seca del cultivo de tomate

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que el uso de los microelementos no causó efectos significativos para el rendimiento, diámetro polar de frutos, peso de frutos y diámetro de tallo, solo existieron diferencias para diámetro ecuatorial de frutos, altura de planta y número de hojas. Ali *et al.* (2015) en su estudio indican que la aplicación foliar de H_3BO_3 (25 mg L⁻¹) no causó cambios en el rendimiento de tomate, sin embargo, en combinación con $ZnSO_4$ lo aumentó (12.5 mg L⁻¹), lo mismo sucedió para altura de planta y número de hojas. Karim *et al.* (2012) reportan resultados similares a los del presente estudio para rendimiento con aplicaciones foliares de $Na_2B_4O_7$ (0.01 %), $MnSO_4$ (0.1 %) y $ZnSO_4$ (0.05 %) en el cultivo de trigo bajo condiciones óptimas de desarrollo, sin embargo, bajo estrés por sequía, la aplicación de los microelementos mejoró el rendimiento. Por otro lado, Steiner *et al.* (2018) indican que la aplicación foliar de $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ (55 a 62 g ha⁻¹) mejoró en lechuga el rendimiento y sus componentes, gracias a la mejora en la asimilación del N.

Los resultados de la aplicación foliar de microelementos estarán en función de las condiciones nutrimentales en las que se desarrollen los cultivos, en primer lugar, si están bajo deficiencias nutrimentales la aplicación foliar puede resultar benéfica en la mejora de ciertas características agronómicas de los cultivos y si la aplicación foliar es suplementaria (sin limitación de nutrientes) los resultados pueden ser positivos, negativos, nulos o mixtos (Rodrigues *et al.*, 2021). En este sentido la aplicación fue suplementaria, por lo cual se explica que no se haya afectado el rendimiento del cultivo de tomate y sus componentes.

De forma general el B es un elemento involucrado en la síntesis de glucidos y en el cuajado de frutos, el Mn es activador de enzimas y está involucrado en el proceso fotosintético, y el Mo es cofactor de la enzima nitrato reductasa (Gupta y Solanki, 2013; Schmidt y Husted, 2019; Rana *et al.*, 2020). Estos elementos aplicados de forma suplementaria, como ya se mencionó, pueden tener diferentes efectos a los observados cuando se aplican de acuerdo con las necesidades nutrimentales de los cultivos (Rodrigues *et al.*, 2021). En este sentido se aplicaron las dosis recomendadas de los productos, y por lo tanto es una explicación de que no se haya modificado el rendimiento. También es posible que al incrementar las dosis (dosis no recomendadas en los productos aplicados) se puedan incrementar o disminuir los rendimientos, lo cual también estará influenciado por las condiciones en las que se desarrolle el cultivo.

Proteínas totales y fitoquímicos

Los frutos de tomate son fuente de antioxidantes (compuestos fenólicos, carotenoides, vitaminas y glicoalcaloides), los cuales tienen la capacidad de reducir moléculas oxidantes y que, a su vez, no solo son importantes para los procesos propios de las plantas, sino también, son importantes para la salud humana, gracias a que ayudan al combate y prevención

de enfermedades crónicas degenerativas (Chaudhary *et al.*, 2018). Para poder determinar el valor nutricional de los frutos de tomate, no solo se debe tomar en cuenta los metabolitos primarios (proteínas, lípidos y carbohidratos), sino también la acumulación de los metabolitos secundarios (compuestos fenólicos, GSH, licopeno, β -caroteno) (Çolak *et al.*, 2020).

El tratamiento con Mn aumentó la concentración de proteínas. Esto puede deberse al hecho de que el Mn está involucrado en la asimilación de N, el cual es el elemento predominante en la estructura de las proteínas (Alejandro *et al.*, 2020). Además, es esencial para proteínas catalíticas (metaloenzimas) y el complejo proteico del fotosistema II, como lo indican Alejandro *et al.* (2020).

Se observaron cambios favorables para flavonoides, licopeno y capacidad antioxidante lipofílica, lo que indica que la aplicación de microelementos activa el sistema antioxidante, ya que al realizar aplicaciones suplementarias se genera un ligero estrés que activa el sistema antioxidante, esto para detoxificar a las células de las especies reactivas de oxígeno (ERO) (Rodrigues *et al.*, 2021). Resultados similares son reportados por Islam *et al.* (2018) quienes indican que la aplicación foliar de H_3BO_3 (4.85 mM) incrementó la concentración de ácido cítrico y ascórbico en frutos de tomate cherry. De la misma manera Hamouda *et al.* (2016) mencionan que la aplicación foliar de $MnSO_4$ (1600 mg L⁻¹) incrementó las antocianinas y ácido ascórbico en frutos de granado. Sutulienė *et al.* (2022) aplicaron B (12.5 mg L⁻¹) y Mo (100 mg L⁻¹) en guisante y, sus resultados muestran que el Mo aumentó los fenoles y capacidad antioxidante, mientras que B disminuyó dichas variables.

En el experimento se observó una disminución de fenoles por efecto de B+Mo y Mn+Mo, de GSH con B+Mn y Mn+Mo y de β -caroteno y capacidad antioxidante lipofílica con B+Mo. Esto nos indica que el uso combinado de estos micronutrientes causó un efecto antagónico, por lo cual no se recomienda su combinación en caso de querer mejorar dichas variables. Estos resultados son similares a los reportados por Sutulienė *et al.* (2022) descritos anteriormente.

Los tratamientos que mostraron incrementos de fitoquímicos se deben posiblemente a que los micronutrientes actuaron como inductores del sistema antioxidante, ya que, el aplicarlos de forma suplementaria, provocaron un estrés que se tradujo en el incremento de moléculas antioxidantes como medida de defensa (Kollist *et al.*, 2019).

El B, Mn y Mo son elementos que tienen una relación en el proceso fotosintético (Priadkina, 2020). El B está involucrado en la síntesis de glucidos, el Mn en la síntesis de clorofila y, el Mo es cofactor de la enzima nitrato reductasa, es imprescindible para la asimilación de N, el cual está involucrado en la capacidad fotosintética de las hojas, ya que las proteínas de los tilacoides y las presentes en el ciclo de Calvin constituyen la mayor parte del N foliar, lo cual nos indica que los tres están involucrados en la producción de fotoasimilados (Gupta y Solanki, 2013; Sánchez *et al.*, 2018). Estos fotoasimilados como la glucosa son metabolitos primarios precursores de metabolitos secundarios con poder

antioxidante (Sarmadi *et al.*, 2018). La glucosa por reacciones enzimáticas puede convertirse en ácido ascórbico, aunado a esto, el fosfoenolpiruvato, un intermediario de la glucólisis es precursor de compuestos fenólicos (Lynch y Dudareva, 2020). Esto nos habla de que estos microelementos están involucrados directa e indirectamente en el sistema antioxidante de las plantas.

CONCLUSIONES

En la investigación se reforzó la importancia de la aplicación foliar suplementaria con microelementos, comprobando que tanto en su forma individual, como en interacción con otros elementos mejoraron algunas variables agronómicas como diámetro ecuatorial de frutos con B+Mo, altura de planta con B+Mo, número de hojas con Mn y el peso seco total con Mo. En cuanto a las variables fitoquímicas, algunas se mejoraron (proteínas con Mn, flavonoides con B y licopeno con B+Mo) y otras disminuyeron (Fenoles con B+Mo y Mn+Mo, GSH con B+Mn y Mn+Mo y β -caroteno con Mo y B+Mo). Existen pocas investigaciones sobre la aplicación de elementos en condiciones sin limitación de nutrientes, por lo cual se requieren más estudios en diferentes cultivos y con diferentes formas de aplicación.

Cuando se tienen niveles óptimos de nutrientes en la solución que se aplica, son los que el cultivo demanda con base a metas de rendimiento, para nuestro caso, la aplicación suplementaria y vía foliar fue para identificar los cambios en el crecimiento, desarrollo y calidad nutracéutica del tomate, es decir fue un plus en la aplicación de estos microelementos vía riego.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al CONAHCyT por la beca otorgada de posgrado.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B. y Peiter, E. 2020. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*. 11: 300. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>
- Ali, M.R., Mehraj, H. y Jamal Uddin, A.F.M. 2015. Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*. 6: 512-517. <https://doi.org/10.18801/jbar.060115.61>
- Bai, Y., Sunarti, S., Kissoudis, C., Visser, R.G. y Van der Linden, C. 2018. The role of tomato WRKY genes in plant responses to combined abiotic and biotic stresses. *Frontiers in Plant Science*. 9: 801. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00801>
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. y Berset, C.L.W.T. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28: 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B. y Nagpal, A.K. 2018. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*. 55: 2833-2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>
- Çolak, N.G., Eken, N.T., Ülger, M., Frary, A. y Doğanlar, S. 2020. Mapping of quantitative trait loci for antioxidant molecules in tomato fruit: Carotenoids, vitamins C and E, glutathione and phenolic acids. *Plant Science*. 292: 110393. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110393>
- Ghafarian, A.H., Zarghami, R., Zand, B. y Bayat, V. 2013. Wheat performance as affected by foliar application of molybdenum (Mo) under drought stress condition. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4: 3050-3056.
- Giménez, G., Andrioli, J. L., Janisch, D. y Godoi, R. 2008. Closed soilless growing system for producing strawberry bare root transplants and runner tips. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43: 1757-1761.
- Gupta, U. y Solanki, H. 2013. Impact of boron deficiency on plant growth. *International Journal of Bioassays*. 2: 1048-1050.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Garde-Cerdán, T., Souza-Da Costa, B. y Moreno-Simunovic, Y. 2018. Strategies for the improvement of fruit set in *Vitis vinifera* L. cv. 'Carménère' through different foliar biostimulants in two different locations. *Ciência e Técnica Vitivinícola*. 33: 177-183. <https://doi.org/10.1051/ctv/20183302177>
- Hamouda, H.A., Khalifa, R.K.M., El-Dahshouri, M.F. y Zahran, N.G. 2016. Yield, fruit quality and nutrients content of pomegranate leaves and fruit as influenced by iron, manganese and zinc foliar spray. *International Journal of Pharm Tech Research*. 9: 46-57.
- Islam, M.Z., Mele, M.A., Ki-Young, C.H.O.I. y Ho-Min, K.A.N.G. 2018. The effect of silicon and boron foliar application on the quality and shelf life of cherry tomatoes. *Zemdirbyste-Agriculture*. 105: 159-164. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.020>
- Karim, M.R., Zhang, Y.Q., Zhao, R.R., Chen, X.P., Zhang, F.S. y Zou, C.Q. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 175: 142-151. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100141>
- Kollist, H., Zandalinas, S.I., Sengupta, S., Nuhkat, M., Kangasjärvi, J. y Mittler, R. 2019. Rapid responses to abiotic stress: priming the landscape for the signal transduction network. *Trends in Plant Science*. 24: 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.003>
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M.R. y Wu, H. 2020. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 148: 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.006>
- Lynch, J.H. y Dudareva, N. 2020. Aromatic amino acids: A complex network ripe for future exploration. *Trends in Plant Science*. 25: 670-681. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.02.005>
- Nagata, M. y Yamashita, I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. 39: 925-928. <https://doi.org/10.3136/nshkk1962.39.925>



- Priadkina, G.O. 2020. Influence of trace elements, applied in classical and nano forms, on photosynthesis of higher plants in relation to enhancement of crop productivity. *Agricultural Science and Practice*. 7: 71-85. <https://doi.org/10.15407/agrisp7.03.071>
- Rana, M., Bhandana, P., Sun, X.C., Imran, M., Shaaban, M., Moussa, M., Saleem, M., Elyamine, A., Binyamin, R., Alam, M., Afzal, J., Khan, I., Din, I., Ahmad, I., Younas, M., Kamran, M. y Hu, C.X. 2020. Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 24:18535. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104>
- Rodrigues, V.A., Crusciol, C.A.C., Bossolani, J.W., Moretti, L.G., Portugal, J.R., Mundt, T.T., de Oliveira, S.L., Garcia, A., Calonego, J.C. y Lollato, R.P. 2021. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. *Plants*. 10: 797. <https://doi.org/10.3390/plants10040797>
- Salehi, B., Sharifi-Rad, R., Sharopov, F., Namiesnik, J., Roointan, A., Kamle, M., Kumar, P., Martins, N. y Sharifi-Rad, J. 2019. Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition*. 62: 201-208. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2019.01.012>
- Sánchez, E., Ruiz, J.M., Romero, L., Preciado-Rangel, P., Flores-Córdova, M.A. y Márquez-Quiroz, C. 2018. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5: 387-398. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757>
- Sariñana-Aldaco, O., Sanchez-Chavez, E., Fortis-Hernandez, M., González-Fuentes, J.A., Moreno-Resendez, A., Rojas-Duarte, A. and Preciado-Rangel, P. 2020. Improvement of the nutraceutical quality and yield of tomato by application of salicylic acid. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 48: 882-892. <https://doi.org/10.15835/nbha48211914>
- Sarmadi, M., Karimi, N., Palazón, J., Ghassempour, A. y Mirjalili, M.H. 2018. The effects of salicylic acid and glucose on biochemical traits and taxane production in a *Taxus baccata* callus culture. *Plant Physiology and Biochemistry*. 132: 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.013>
- Schmidt, S.B. y Husted, S. 2019. The biochemical properties of manganese in plants. *Plants*. 8: 381. <https://doi.org/10.3390/plants8100381>
- Singleton, V.L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15: 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Steiner, F., Zoz, T., Zuffo, A.M., Pereira-Machado, P., Zoz, J. y Zoz, A. 2018. Foliar application of molybdenum enhanced quality and yield of crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L., cv. Grand Rapids). *Acta Agronómica*. 67: 73-78. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.59272>
- Sutulienė, R., Ragelienė, L., Duchovskis, P. y Miliauskienė, J. 2022. The Effects of Nano-copper, molybdenum, boron, and silica on Pea (*Pisum sativum* L.) Growth, Antioxidant Properties, and Mineral Uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 22: 801-814. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00692-w>
- Wenda-Piesik, A., Kazek, M. y Ropińska, P. 2017. Impact of amino acid biostimulation and microelements fertilization in foliar application on productivity of winter oilseed rape. *Fragmenta Agronomica*. 34: 119-129.
- Westermann, D.T. 2005. Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research*. 82: 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
- Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q. y Cai, Y. 2019. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. *BioMed Research International*. 2019: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
- Xue, T., Hartikainen, H. y Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*. 237: 55-61. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>
- Zhishen, J., Mengcheng, T. y Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)