

Impacto de nanofertilizantes en el rendimiento y calidad de pepino bajo condiciones de invernadero

Alonso Méndez-López¹
Juana Cruz García-Santiago¹
Laura María González-Méndez¹
Silvia Yudith Martínez-Amador¹
Aida Isabel Leal-Robles¹
Miriam Sánchez-Vega^{2,§}

1 Departamento de Botánica-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. mailto:Tel. 844 2182154. (alonso1977@gmail.com; jhoana-gs@yahoo.com.mx; lglezm@gmail.com; syma-mx@yahoo.com; aisaler@yahoo.com.mx).

2 CONACYT-Departamento de Parasitología-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. Tel. 595 1020249.

Autora para correspondencia: msanchezv@conacyt.mx.

Resumen

Los nanofertilizantes representan un método eficiente para fertilizar los cultivos con un impacto positivo en el desarrollo de las plantas. El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto de los nanofertilizantes Nubiotek Ultra Ca y Nubiotek Hyper Fe+Mg sobre el rendimiento y calidad de frutos de pepino, en el año 2020. Se evaluaron dos dosis de Nubiotek Ultra Ca (0 y 20 L ha⁻¹) y cuatro dosis de Nubiotek Hyper Fe+Mg (0, 2, 4 y 8 ml L⁻¹). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial (2x4), con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que los nanofertilizantes evaluados no mejoraron la distancia de entrenudo, peso seco de cada órgano, longitud de raíz, sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y los parámetros de color de fruto respecto a los valores obtenidos con el testigo. En cambio, con los tratamientos 0 L ha⁻¹ de Nubiotek Ultra Ca + 8 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg y 20 L ha⁻¹ de Nubiotek Ultra Ca + 2 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg se incrementó el rendimiento de fruto en 111 y 123%, respectivamente, con relación al testigo. Asimismo, se observó una mayor firmeza de frutos al aplicar Nubiotek Ultra Ca y Nubiotek Hyper Fe+Mg en dosis de 20 L ha⁻¹ + 8 ml L⁻¹; en tanto que, el mayor contenido de clorofila a, b y total se logró con las dosis de 20 L ha⁻¹ + 4 ml L⁻¹ y 20 L ha⁻¹ + 8 ml L⁻¹.

Palabras clave:

Cucumis sativus L., firmeza, clorofila.



Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es la segunda cucurbitácea más cultivada en el mundo (Singh *et al.*, 2020). Sin embargo, la producción de pepino requiere tasas de nutrientes de moderadas a altas para lograr un mejor rendimiento y mayor calidad (Kumar, 2020). Se sabe que los fertilizantes son insumos agrícolas vitales que mejoran la producción de los cultivos, desde un 30 a 50% (Chen y Yada, 2011).

No obstante, debido a la baja eficiencia de los fertilizantes convencionales, menos de la mitad de la cantidad aplicada es usado eficientemente por las plantas (Congreves *et al.*, 2021), el resto se filtra en el suelo o no están disponibles para los cultivos, lo que causa contaminación de aguas subterráneas y la reducción de la fertilidad del suelo (Verma *et al.*, 2022). Por lo tanto, es necesario utilizar alternativas eficientes en la nutrición de los cultivos para resolver los problemas que causa la aplicación de altas tasas de fertilizantes convencionales y a la vez, aumentar la producción de alimentos.

Los nanofertilizantes representan una alternativa para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, reducir el uso de fertilizantes convencionales, por consiguiente, reducir los impactos adversos al medio ambiente. Los nanofertilizantes son compuestos de nutrientes de formulaciones nanoestructuradas (Raliya *et al.*, 2017; Astaneh *et al.*, 2021; Rajput *et al.*, 2021).

El efecto benéfico de los nanofertilizantes en el desarrollo de los cultivos, en comparación con los fertilizantes convencionales, se debe a que éstos tienen un tamaño de partícula de 1-100 nm y un área de superficie específica más extensa, lo que hace que éstos tengan mayor tasa de disolución y sean fácilmente absorbidos a través de las hojas o raíces (Verma *et al.*, 2022); además, la liberación de los nutrientes de las nanopartículas se hace en un ritmo lento, por lo que permiten una duración prolongada del suministro efectivo de nutrientes para las plantas (Verma *et al.*, 2022).

Los avances recientes en la agricultura sostenible han visto el uso benéfico de varios nanofertilizantes para aumentar la producción de cultivos. Según lo reportado por Rajput *et al.* (2021), más de 102 nanofertilizantes habilitados están disponibles en el mercado de 17 países y en México se disponen de dos líneas habilitados, Nubiotek Ultra y Nubiotek Hyper (Menossi *et al.*, 2022).

Sin embargo, existe pocas investigaciones que indiquen la influencia de la fertilización con nanofertilizantes en el desarrollo de hortalizas y sobre todo, no hay investigaciones del efecto de nanofertilizantes habilitados disponibles en México sobre la producción de cultivos. Por lo tanto, en este trabajo de investigación se planteó el objetivo de determinar el impacto de los nanofertilizantes Nubiotek Ultra Ca y Nubiotek Hyper Fe+Mg sobre el rendimiento y calidad de frutos de pepino.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en el año 2020 en un invernadero tipo capilla con cubierta de policarbonato de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizaron semillas de pepino cv. Centauro, y fueron sembradas en contenedores de polietileno negro de 8 L, usando como medio de crecimiento una mezcla de turba ácida y perlita (1:1%, v:v). Para tener plantas uniformes, la siembra se realizó directamente, colocando una semilla por contenedor, a una distancia de 40 cm entre plantas y 80 cm entre filas.

Descripción de los nanofertilizantes y los tratamientos

Los nanofertilizantes utilizados son los productos comerciales Nubiotek Ultra Ca y Nubiotek Hyper Fe+Mg. Nubiotek Ultra Ca contiene 13% de Ca, 17% de N, 3.5% de K y 17% de ácidos húmicos; mientras que, Nubiotek Hyper Fe+Mg aporta 1.5% de Fe y 0.5% de Mg. Los tratamientos utilizados

fueron dos dosis de Nubiotek Ultra Ca (0 y 20 L ha⁻¹) y cuatro dosis de Nubiotek Hyper Fe+Mg (0, 2, 4 y 8 ml L⁻¹), dando un total de ocho tratamientos.

En todos los tratamientos se empleó como base de fertilización la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961) (meq L⁻¹: 12 NO₃, 1 H₂PO₄, 7 K, 4 Mg, 9 Ca y 7 SO₄) y los siguientes micronutrientes (mg L⁻¹): 6 Fe, 0.48 Zn, 2.96 Mn, 0.32 B y 0.24 Cu. Para la formulación de la solución nutritiva base se consideró las propiedades químicas del agua de riego. El pH de la solución se ajustó a 6 ±0.1 antes de cada riego con H₂SO₄ a 1 N. La aplicación de la solución Steiner se inició a los 15 días después de la emergencia (DDE).

Los riegos se efectuaron manualmente según las necesidades hídricas de las plantas, aplicando un volumen suficiente de la solución nutritiva para mantener una fracción de lixiviado al 20%. La aplicación de los tratamientos se realizó cada 15 días, a partir de los 21 DDE. Los tratamientos con Nubiotek Ultra Ca se adicionaron hacia la base del tallo de las plantas de pepino y las dosis de Nubiotek Hyper Fe+Mg se aplicaron de forma foliar.

VARIABLES EVALUADAS

El experimento finalizó a los 100 días después de la siembra, la cosecha de frutos se realizó cuando presentaban el tamaño característico de la variedad. Se evaluó el peso de cada fruto (g) con ayuda de una balanza digital y el rendimiento por planta se determinó mediante la sumatoria del peso total de frutos cosechados. Además, se obtuvo el contenido de sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable, firmeza, clorofila (a, b y total) y parámetros de color (L*, a* y b*) de la epidermis de los frutos.

El contenido de sólidos solubles totales se valoró colocando una gota de jugo fresco en el prisma de un refractómetro digital (Atago®, USA Inc., Bellevue, WA, USA). El contenido de vitamina C en el fruto, se determinó por el método de titulación con 2,6- diclorofenolindofenol (Padayatt *et al.*, 2001).

La acidez titulable se determinó de acuerdo con el método de la AOAC (2000). Se tomó una muestra de 10 ml de jugo del fruto, se aforó a 125 ml con agua destilada. Esta solución se tituló con NaOH 0.01N hasta alcanzar un pH de 8.3. Los resultados de estas mediciones se expresaron en porcentaje de ácido cítrico por medio de la aplicación de la fórmula siguiente:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{meq}_{\text{ácido}} * x * 100}{V}$$

Donde: V_{NaOH}= volumen de NaOH usado para la titulación; N_{NaOH}= normalidad del NaOH; meq_{ácido} x = miliequivalentes de ácido; V= ml de la muestra. El valor equivalente de base a ácido para el ácido cítrico es: 0.064.

La firmeza se determinó en tres puntos del fruto utilizando un penetrómetro digital PCE-PTR 200, equipado con una punta convexa de 8 mm de diámetro. El contenido de clorofila a, b y total de la epidermis del fruto se cuantificó por medio de espectrofotometría (Wellburn, 1994). Los parámetros de color a*, b* y L* de la epidermis del fruto se midieron en dos lados opuestos de la parte ecuatorial utilizando un equipo Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Corp, Ramsey, Nuevo Jersey, EE. UU.).

Al finalizar el experimento se evaluó la distancia de entrenudo de las plantas, posteriormente, las raíces se lavaron con agua potable y agua destilada para eliminar el exceso de sustrato. Se separó la planta en raíz, tallo y hojas para determinar la longitud de raíz. Los órganos separados se introdujeron en un horno de secado a 65 °C durante 72 h, posteriormente se registró el peso de la materia seca con una balanza analítica.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó el trabajo bajo un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2x4, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey (α ≤ 0.05) utilizando el programa estadístico SAS versión 9.2 (Statistical Analysis Systems).

Resultados y discusión

En este trabajo se observó que el nanofertilizantes Nubiotek Ultra Ca indujo cambios significativos ($p \leq 0.05$) sobre la longitud de entrenudo, peso seco de tallo y rendimiento; así mismo, el nanofertilizante Nubiotek Hyper Fe+Mg afectó significativos ($p \leq 0.05$) el peso seco de hoja, longitud de raíz y rendimiento, sin observar efecto positivo de estos nanofertilizantes sobre el crecimiento de las plantas de pepino; mientras que, la interacción de los dos nanofertilizantes evaluados afectó estadísticamente ($p \leq 0.05$) la longitud de raíz y rendimiento de fruto (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de las dosis de nanofertilizantes sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en las plantas de pepino.

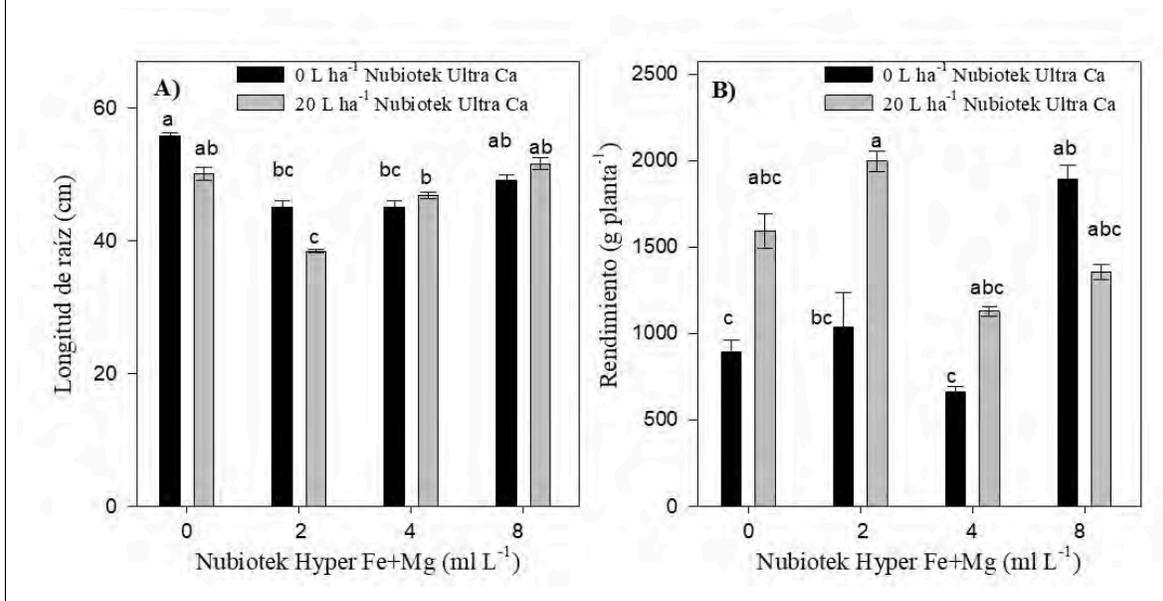
	Longitud de entrenudo (cm)	Peso seco (g planta ⁻¹)			Longitud de raíz (cm)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
		Hoja	Tallo	Raíz		
Nubiotek Ultra Ca (L ha ⁻¹)						
0	14.63a	36.58a	17.44a	2.69a	48.84a	1122.9b
20	13.95b	32.67a	14.87b	2.19a	46.79a	1518a
Nubiotek Hyper Fe+Mg (ml L ⁻¹)						
0	14.57a	36.17ab	16.62a	2.25a	53.01a	1245.2ab
2	14.14a	26.83c	13.87a	2.5a	41.82c	1516.7a
4	14.32a	33bc	17.37a	2.5a	46b	896.7b
8	14.15a	42.5a	16.75a	2.5a	50.43a	1625.2a
Anova ($p \leq 0.05$)						
Nubiotek Ultra Ca	0.045	0.06	0.047	0.076	0.062	0.009
Nubiotek Hyper Fe+Mg	0.763	0.001	0.212	0.883	0.001	0.006
Interacción	0.159	0.674	0.572	0.35	0.006	0.005

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$.

De acuerdo a la interacción de los dos nanofertilizantes evaluados, se observó que al aplicar el nanofertilizante Nubiotek Hyper Fe+Mg, solo o en combinación con el nanofertilizante Nubiotek Ultra Ca, no se mejoró la longitud de raíz de las plantas de pepino, incluso, al aplicar los tratamientos 0 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 2 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg, 0 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 4 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg, 20 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 2 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg y 20 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 4 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg se obtuvo una menor longitud de raíz respecto al testigo, decreciendo un 19.3, 19.3, 31.1 y 16.2%, respectivamente (Figura 1A).



Figura 1. Efecto de la interacción de las dosis de nanofertilizantes sobre la longitud de raíz (A) y rendimiento (B) de pepino. Medias con letra diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$. Las barras indican el error estándar de la media ($n = 4$).



Lo anterior no concuerda con lo referido por *Kanwar et al. (2019)*, quienes han indicado que las plantas expuestas a los nanofertilizantes presentan cambios vitales en los procesos biológicos y fisiológicos, induciendo mejoras en el crecimiento de los cultivos. Lo planteado por *Verma et al. (2022)* señaló que los efectos de los nanofertilizantes sobre el desarrollo de las plantas pueden estar regulados por las características del suelo, el medio ambiente, el mecanismo de entrega de los nanofertilizantes y las especies de plantas.

Contrario a lo observado en el comportamiento del crecimiento de raíz a la aplicación de los nanofertilizantes, el rendimiento de fruto de pepino fue superior al testigo al agregar los tratamientos 0 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 8 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg y 20 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 2 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg, superándolo por un 111 y 123%, respectivamente (*Figura 1B*).

Estos resultados concuerdan con los reportados por *Rahman et al. (2021)*, quienes señalaron que el rendimiento total de tomate aumentó en un 31.8% en plantas en las que se agregó una mezcla de nanofertilizantes (Zn, Fe y Cu) con respecto al testigo, lo anterior como resultado de la distribución equilibrada y controlada de los nanofertilizantes dentro de la planta. Autores como *Morsy et al. (2018)* al evaluar un nanofertilizante que aporta Ca, Mg y Fe en el cultivo de trigo (*Triticum durum* L.) reportaron un mayor rendimiento, atribuyendo este efecto a la eficiencia del uso de nutrientes y mejora de la fotosíntesis por la planta.

Asimismo, el nanofertilizante Nubiotek Ultra Ca afectó significativamente ($p \leq 0.05$) el contenido de sólidos solubles totales, vitamina C y firmeza de fruto; en tanto que, el nanofertilizante Nubiotek Hyper Fe+Mg afectó estadísticamente ($p \leq 0.05$) la acidez titulable y firmeza de fruto; asimismo, la interacción de los dos nanofertilizantes evaluados afectó estadísticamente ($p \leq 0.05$) los sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y firmeza de fruto (*Cuadro 2*).



Cuadro 2 .Efecto de las dosis de nanofertilizantes sobre parámetros de calidad de fruto de pepino.

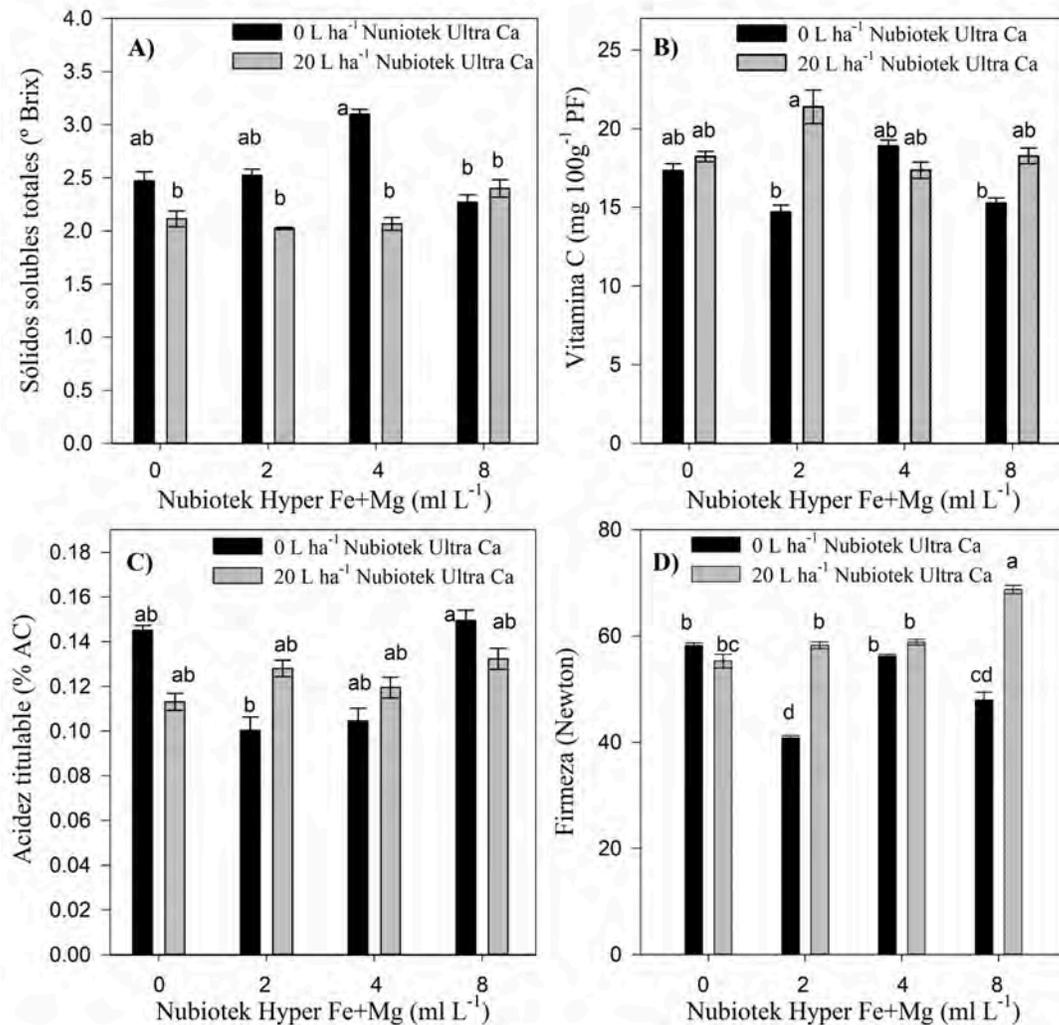
	SST (°Brix)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ PF)	Acidez titulable (% AC)	Firmeza (N)
Nubiotek Ultra Ca (L ha ⁻¹)				
0	2.59a	16.55b	0.125a	50.77b
20	2.15b	18.81a	0.123a	60.25a
Nubiotek Hyper Fe+Mg (ml L ⁻¹)				
0	2.29a	17.78a	0.129ab	56.71a
2	2.27a	18.03a	0.114ab	49.51b
4	2.58a	18.13a	0.112b	57.5a
8	2.33a	16.76a	0.14a	58.32a
Anova (<i>p</i> # 0.05)				
Nubiotek Ultra Ca	0.001	0.014	0.799	0.001
Nubiotek Hyper Fe+Mg	0.134	0.629	0.031	0.001
Interacción	0.007	0.019	0.026	0.001

Medias con letra diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$. SST= sólidos solubles totales; PF= peso fresco; AC= ácido cítrico.

De acuerdo con la interacción de los dos nanofertilizantes evaluados, se observó que a pesar de que los tratamientos presentaron diferencia estadística en los parámetros de sólidos solubles totales, vitamina C y acidez titulable, ninguno de los tratamientos en los que se adicionaron los nanofertilizantes superaron al testigo (Figura 2 A, 2B y 2C). Los resultados de esta investigación están acordes con los hallazgos de Cvelbar *et al.* (2021), quienes observaron que al fertilizar las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) con un nanofertilizante que aporta Ca, Mg y Fe los sólidos solubles totales no presentaron un incremento.



Figura 2. Efecto de la interacción de las dosis de nanofertilizantes sobre los sólidos solubles totales (A); vitamina C (B); acidez titulable (C); y firmeza (D) de los frutos de pepino. Medias con letra diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$. Las barras indican el error estándar de la media ($n = 4$).



Se ha señalado que los parámetros de calidad de fruto son afectados, principalmente, por la disponibilidad de nutrientes durante el desarrollo del cultivo (Li *et al.*, 2021). Los nanofertilizantes mejoran la difusión, solubilidad y disponibilidad de nutrimentos para las plantas, debido a su tamaño pequeño, superficie específica alta y al sinergismo que las nanopartículas presentan sobre los fertilizantes convencionales (Verma *et al.*, 2022).

De acuerdo con lo anterior, pudo esperarse una mejora en los parámetros de calidad de los frutos de pepino al agregar los nanofertilizantes, aunque este efecto positivo de los nanofertilizantes únicamente se observó en la firmeza de fruto, ya que se obtuvo una mejor firmeza de fruto al aplicar 20 L ha⁻¹ Nubiotek Ultra Ca + 8 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg, superando al testigo por un 18% (Figura 2D).

La respuesta anterior representa una ventaja para una mejor aceptación del consumidor, ya que la firmeza de fruto es considerada un atributo de gran importancia en el cultivo de pepino, pues el consumidor busca frutos firmes y crujientes (Azarmi *et al.*, 2015). El Ca mantiene la integridad y estabilidad de la membrana plasmática y pared celular a través de vínculos establecidos con proteínas, fosfolípidos y ácido péctico (Langer *et al.*, 2019; Sajid *et al.*, 2020).

Sin embargo, el Ca es un ion de baja tasa de translocación a larga distancia en el xilema (Maathuis y Diatloff, 2013). Nubiotek Ultra Ca es considerado un coloide amfífilo enantiomórfico, por lo que permiten que el Ca penetre de forma rápida y efectiva al interior de la planta; además, permite que este sea transportado a todos los órganos de la planta. Esta cualidad de nanofertilizante Nubiotek Ultra Ca pudo ser, en parte, responsable de la mejora de la firmeza de los frutos de pepino.

De igual manera, en este trabajo se observó que el nanofertilizante Nubiotek Ultra Ca afectó significativamente ($p \leq 0.05$) el contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total en la epidermis de los frutos de pepino; asimismo, Nubiotek Hyper Fe+Mg influenciaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) el contenido de clorofila a, clorofila b, clorofila total y L^{*}; en tanto que, la interacción de los dos nanofertilizantes evaluados afectaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) la clorofila a, clorofila b y clorofila total (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de las dosis de nanofertilizantes sobre la clorofila a, clorofila b, clorofila total, L^{*}, a^{*} y b^{*} de la epidermis de los frutos de pepino.

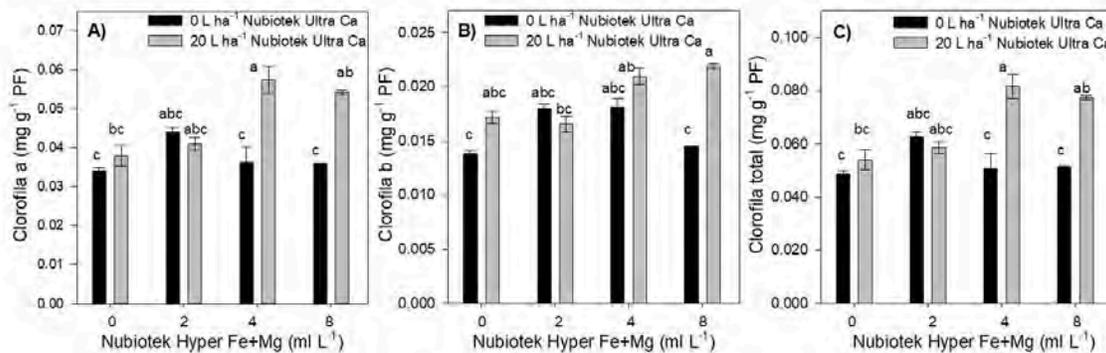
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	L [*]	a [*]	b [*]
	(mg g ⁻¹ PF)					
Nubiotek Ultra Ca (L ha⁻¹)						
0	0.037b	0.016b	0.053b	30.64a	-7.5	8.38
20	0.047a	0.019a	0.068a	29.67a	-6.84	7.66
Nubiotek Hyper Fe+Mg (ml L⁻¹)						
0	0.036b	0.015b	0.051b	30.26ab	-7.29	8.13
2	0.042ab	0.017ab	0.061ab	27.62b	-6.47	7.28
4	0.047a	0.019a	0.066a	31.85a	-7.71	8.55
8	0.045ab	0.018ab	0.065ab	30.89a	-7.22	8.11
Anova (p# 0.05)						
Nubiotek Ultra Ca	0.001	0.002	0.001	0.169	0.08	0.124
Nubiotek Hyper Fe+Mg	0.034	0.012	0.045	0.003	0.137	0.269
Interacción	0.011	0.006	0.009	0.056	0.064	0.161

Medias con letra diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$. PF= peso fresco.

La interacción de los dos nanofertilizantes demostró que al aplicar 20 L ha⁻¹ de Nubiotek Ultra Ca + 4 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg y 20 L ha⁻¹ de Nubiotek Ultra Ca + 8 ml L⁻¹ de Nubiotek Hyper Fe+Mg se obtuvo el mayor contenido de clorofila a, b y total, superando al testigo (Figura 3A, 3B y 3C). Con relación a lo anterior, se ha indicado que los nanofertilizantes provocan un incremento en el contenido de clorofila debido a que éstos inducen aumento en los índices fisiológico y bioquímicos en las plantas (Pirvulescu *et al.*, 2015).



Figura 3. Efecto de la interacción de las dosis de nanofertilizantes sobre la clorofila a (A); clorofila b (B); y clorofila total (C) de la epidermis de los frutos de pepino. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al $\alpha \leq 0.05$. Las barras indican el error estándar de la media (n= 4).



Aunado a lo anterior, el N y Mg al ser nutrimentos que forman parte de la estructura de la clorofila (Khalil et al., 2021; Mohammed et al., 2021), al incrementar la tasa de N y Mg mediante la adición de los nanofertilizantes Nubiotech Ultra Ca y Nubiotech Hyper Fe+Mg pudieron provocar el aumento del contenido de clorofila en los frutos de pepino. Asimismo, la aplicación adicional de Fe mediante Nubiotech Hyper Fe+Mg y su fácil absorción pudo beneficiar en el mayor contenido de clorofila en los frutos de pepino, ya que se ha indicado que el Fe es esencial en la biosíntesis de la molécula de clorofila dentro de las plantas (Hamouda et al., 2016).

Conclusiones

En este trabajo se comprobó que los nanofertilizantes Nubiotech Ultra Ca y Nubiotech Hyper Fe+Mg incrementan el rendimiento de frutos de pepino, principalmente cuando se agrega ambos nanofertilizantes en dosis de 0 L ha⁻¹ + 8 ml L⁻¹ y 20 L ha⁻¹ + 2 ml L⁻¹. Además, al aplicar Nubiotech Ultra Ca y Nubiotech Hyper Fe+Mg se mejora la firmeza y contenido de clorofila en los frutos de pepino.

Bibliografía

- 1 AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. official methods of analysis international. 17th Ed. Washington, DC. 1-30 pp.
- 2 Astaneh, N.; Bazrafshan, F.; Zare, M.; Amiri, B. and Bahrani, A. 2021. Nano-fertilizer prevents environmental pollution and improves physiological traits of wheat grown under drought stress conditions. *Scientia Agropecuaria*. 12(1):41-47. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.005>.
- 3 Azarmi, R.; Tabatabaei, S. J. and Chaparzadeh, N. 2015. Effect of magnesium on growth, fruit quality and sugar content in cucumber under various light intensities. *International journal of biology, pharmacy and allied sciences*. 4(9):5915-5932.
- 4 Chen, H. D. and Yada, R. Y. 2011. Nanotechnologies in agriculture: new tools for sustainable development. *Trends Food Sci. Technol.* 22(11):585-594. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.09.004>.
- 5 Congreves, K. A.; Otchere, O. A.; Ferland, D. J.; Farzadfar, S. K.; Williams, S. J. and Arcand, M. M. 2021. Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Front. Plant Sci.* 12:637108. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108>.

- 6 Cvelbar, W. N.; Koron, D.; Jakopi#, J.; Veberi#, R.; Hudina, M. and Baša, C. H. 2021. Influence of nitrogen, calcium and nano-fertilizer on strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit inner and outer quality. *Agronomy*. 11(5):1-8. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050997>.
- 7 Hamouda, H. A.; Khalifa, R. K. M.; El-Dahshouri, M. F. and 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(3):46-57.
- 8 Rahman, M. H.; Hasan, M. N.; Nigar, S.; Ma, F.; Aly Saad Aly, M. and Khan, M. Z. H. 2021. Synthesis and characterization of a mixed nanofertilizer influencing the nutrient use efficiency, productivity, and nutritive value of tomato fruits. *ACS omega*. 6(41):27112-27120.
- 9 Kanwar, M. K.; Sun, S.; Chu, X. and Zhou, J. 2019. Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on plant growth and productivity. *In: Nanomaterials and Plant Potential*. Ed. First edition. Springer. Cham, Switzerland. 379-392. pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05569-1-15>.
- 10 Khalil, N. H. and Hammoodi, J. K. 2021. Effect of nitrogen, potassium and calcium in strawberry fruit quality. *International journal of agricultural and statistical sciences*. 16(1):1967-1972.
- 11 Kumar, P. 2020. Effect of fertigation on growth and fruit yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under naturally ventilated polyhouse condition. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(6):124-126.
- 12 Langer S. E.; Marin, M.; Burgos, J. L.; Martínez, G. A.; Civello, P. M. and Villarreal, N. M. M. 2019. Calcium chloride treatment modifies cell wall metabolism and activates defense responses in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch). *J. Sci Food Agric*. 99(8):4003-4010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9626>.
- 13 Li, H.; Liu, H.; Gong, X.; Li, S.; Pang, J.; Chen, Z. and Sun, J. 2021. Optimizing irrigation and nitrogen management strategy to trade off yield, crop water productivity, nitrogen use efficiency and fruit quality of greenhouse grown tomato. *Agricultural Water Management*. 245:106570. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106570>.
- 14 Maathuis, F. J. and Diatloff, E. 2013. Roles and functions of plant mineral nutrients. *In: plant mineral nutrients*. Ed. First edition. Humana Press. USA. 1-21 pp.
- 15 Menossi, M.; Casalengué, C. and Alvarez, V. A. 2022. Bio nanocomposites for modern agricultural applications. *In: Handbook of consumer nanoproducts*. Mallakpour.. Ed. First edition. Springer Nature. Singapore. 1-38 pp.
- 16 Mohammed, S. W.; Mishra, S. K.; Singh, R. K.; Singh, M. K. and Soni, S. S. 2021. The effect of NPK on the growth, yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under protected cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* . 10(1):2011-2014.
- 17 Morsy, A. S. M.; Awadalla, A. and Sherif, M. M. 2018. Effect of irrigation, foliar spray with nano-fertilizer (lithovit) and n-levels on productivity and quality of durum wheat under Toshka Conditions. *Assiut journal of agricultural Sciences*. 49(3):1-26. <https://doi.org/10.21608/AJAS.2018.14899>.
- 18 Padayatt, S. J.; Daruwala, R.; Wang, Y.; Eck, P. K.; Song, J.; Koh, W. S. and Levine, M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. *In: Handbook of antioxidants*. Cadenas, E. and Packer, L. Ed. CRC Press. Washington, DC, USA. 117-145 pp.
- 19 Pirvulescua, A.; Salaa, F. and Boldea, M. 2015. Variation of chlorophyll content in sunflower under the influence of magnetic nanofluids. *AIP Conf. Proc.* 1648(1):670009. <https://doi.org/10.1063/1.4912904>.
- 20 Rajput, V. D.; Singh, A.; Minkina, T. M.; Shende, S. S.; Kumar, P. and Verma, K. K. 2021. Potential applications of nanobiotechnology in plant nutrition and protection for sustainable agriculture. *In: Nanotechnology in plant growth promotion and protection: Recent advances*

- and impacts. Ingle, A. P. Ed. First edition. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, UK. 79-92. pp.
- 21 Raliya, R.; Saharan, V.; Dimkpa, C. and Biswas, P. 2017. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. *J Agric Food Chem.* 66(26):6487-6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>.
 - 22 Sajid, M.; Ullah, I.; Rab, A.; Shah, S. T.; Basit, A.; Bibi, F. and Ahmad, M. 2020. Foliar application of calcium improves growth, yield and quality of tomato cultivars. *Pure and applied biology.* 9(1):10-19. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90002>.
 - 23 Singh, J.; Singh, M. K.; Kumar, M.; Gupta, A. and Singh, K. P. 2020. Growth, yield and quality parameters of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by integrated nutrient management application. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(10):1455-1462. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.173>.
 - 24 Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant soil* 15(2):134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
 - 25 Verma, K. K.; Song, X. P.; Joshi, A.; Rajput, V. D.; Singh, M. and Sharma, A. 2022. Nanofertilizer possibilities for healthy soil, water, and food in future: an overview. *frontiers in plant science.* 13:865048. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.865048>.
 - 26 Wellburn, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology.* 144(3):307-313.



Impacto de nanofertilizantes en el rendimiento y calidad de pepino bajo condiciones de invernadero

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: 04 April 2024
Date accepted: 01 June 2024
Publication date: 28 June 2024
Publication date: May-Jun 2024
Volume: 15
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3343
DOI: 10.29312/remexca.v15i4.3343

Categories

Subject: Artículo

Palabras claves:

Palabras claves:

Cucumis sativus L.

firmeza

clorofila.

Counts

Figures: 3

Tables: 3

Equations: 1

References: 26

Pages: 0