



Fertilización foliar para el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* Jacq. bajo condiciones de casa malla

Foliar fertilization for the growth and yield of *Capsicum chinense* Jacq. under screenhouse conditions

Omar Alejandro Avalos Vázquez¹; Wilberth Chan Cupul¹*

¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuaria, Universidad de Colima, km 40, Autopista Colima-Manzanillo, C.P. 28983, Tecomán, Colima, México.

ORCID de los autores

O. A. Avalos Vázquez: <https://orcid.org/0009-0002-5756-888X>

W. Chan Cupul: <https://orcid.org/0000-0001-8634-3618>

RESUMEN

El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ha cobrado interés en el centro pacífico de México. El objetivo fue evaluar fertilizantes foliares sobre el crecimiento y rendimiento de chile habanero bajo condiciones de casa malla. Se evaluaron tres fertilizantes foliares: T1) Fruto grande® + 4-4-50®, T2) Fruto grande®, T3) 4-4-50®, T4) Poliquel multi® y un testigo T5) sin fertilizante foliar. Las variables de respuesta fueron altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, índice de clorofila, calidad de fruto (peso, largo y ancho) y rendimiento (frutos planta⁻¹, kg planta⁻¹ y t ha⁻¹). Se empleó un diseño completo al azar, los datos se analizaron con análisis de varianza y comparación de medias Tukey (p = 0,05). La altura de planta, diámetro de tallo y área foliar no presentaron diferencias significativas por efecto de los fertilizantes foliares. Los tres fertilizantes incrementaron el índice de clorofila entre 4,42% y 17,19%. La combinación de Frutos grandes® + 4-4-50® incrementó el tamaño de los frutos en peso (2,89 g), largo (4,32 mm) y ancho (2,67 mm). Sin embargo, los fertilizantes foliares no incrementaron el rendimiento, el cual osciló entre 0,95 y 1,14 kg planta⁻¹. Los fertilizantes foliares incrementaron el tamaño de fruta y no el rendimiento.

Palabras clave: Colima; clorofila; habanero; hortaliza; micronutrientes.

ABSTRACT

The cultivation of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) has gained interest in the central Pacific of Mexico. The objective was to evaluate foliar fertilizers on the growth and yield of habanero pepper under screenhouse conditions. Three foliar fertilizers were evaluated: T1) Fruto grande® + 4-4-50®, T2) Fruto grande®, T3) 4-4-50®, T4) Poliquel multi® and a control T5) without foliar fertilizer. The response variables were plant height, stem diameter, leaf area, chlorophyll index, fruit quality (weight, length and width) and yield (fruits plant⁻¹, kg plant⁻¹ and t ha⁻¹). A randomized design was used, and data were analyzed with analysis of variance and Tukey comparison of means (p = 0.05). Plant height, stem diameter and leaf area did not show significant differences due to the effect of foliar fertilizers. The three foliar fertilizers increased the chlorophyll index by 4.42% to 17.19%. The combination of Fruto grande® + 4-4-50® increased fruit size in weight (2.89 g), length (4.32 mm), and width (2.67 mm). However, foliar fertilizers did not increase yield, which ranged from 0.95 to 1.14 kg plant⁻¹. Foliar fertilizers increase fruit size but not yield.

Keywords: Colima; chlorophyll; habanero; vegetable; micronutrients.

1. Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es una hortaliza de gran importancia en México, apreciada por su sabor y picor, presenta varios colores del fruto en maduración: amarillo, café, naranja y rojo (López-Puc et al., 2020). El fruto tiene un diversificado uso, se estima que el 75% se destina al consumo en fresco, 12% a la producción de salsas y el 13% restante a la producción de semillas. La superficie dedicada al este cultivo ha ido en aumento en México. En el 2023, la superficie de siembra fue de 829,56 ha, de las cuales el 89,6% se produjo a cielo abierto, 6,2% bajo malla sombra, 5,2% en invernadero, 0,07% en macro túnel y 0,1% fue producto de exportación. El chile habanero es cultivado en los estados de Yucatán (188,24 ha), Tabasco (248.75 ha), Campeche (154.00 ha), Quintana Roo (94,93 ha), Nayarit (68.50 ha) y Sinaloa (296,00 ha), finalmente en el estado de Colima se establecieron 20 ha (SIAP, 2023).

La producción de *C. chinense* se ha visto limitada por diversos factores, entre los cuales se encuentra la nutrición mineral, que afecta directamente con el crecimiento y rendimiento de la planta (Castillo-Aguilar et al., 2024). La deficiencia de un solo nutriente suele convertirse en un problema significativo, ya que las rutas metabólicas se ven seriamente afectadas. La planta presenta valores críticos específicos para cada nutriente; cuando estos valores están por debajo del nivel óptimo, se ocasiona una deficiencia que, durante las fases de crecimiento, impacta negativamente el rendimiento y la calidad del fruto (Krishnasree et al., 2021; da Silva-Magalhães et al., 2023). Además, el uso ineficiente de fertilizantes químicos en la agricultura agrava esta situación, ya que gran parte del fertilizante se libera al medio ambiente o pueden dejar de estar disponibles para las plantas (Murillo-Cuevas et al., 2021; Ramírez-Ramírez et al., 2024).

Este problema se intensifica debido a que la fertilización se realiza en su mayoría con fertilización química con diversas aplicaciones, dosificaciones y en ocasiones sin el asesoramiento técnico requerido para poder llevar a cabo estos procedimientos. La aplicación de fertilizantes minerales, que suelen ser importados, incrementan el precio y eleva los costos de producción (Javier-López et al., 2022). Asimismo, con la gran cantidad de productos disponibles en el mercado, surge la confusión de que producto aplicar, contribuyendo a un inadecuado uso de los fertilizantes y, por consecuencia se producen resultados no

satisfactorios, que pueden hacer dudar de su efectividad (Lara-Capistrán et al., 2025).

La fertilización foliar representa una alternativa viable. Esta técnica consiste en pulverizar una solución de fertilizante líquido sobre el follaje de las plantas cultivadas, lo que permite una rápida optimización del estado nutricional, ya que los nutrientes aplicados no se ven afectados por los procesos del suelo que retrasan su disponibilidad (Schjoerring & de Castro, 2023). Esta vía de aplicación facilita la corrección de deficiencias puntuales y mejora la eficiencia en el uso de nutrientes, especialmente cuando existen limitaciones en la absorción radicular. Por lo tanto, evaluar el uso de estos fertilizantes, en especial los foliares, es una actividad preponderante de estudio (Buelna-Tarín et al., 2024).

Algunos estudios demuestran que el efecto de fertilizantes foliares con un mayor contenido de K^+ , aumentaron el rendimiento, sólidos solubles, licopeno en frutos de tomate en hidroponía bajo invernadero (Pérez-Espinoza et al., 2017), de forma similar, Castillo-Aguilar et al. (2024) evaluaron cinco niveles de fertilización NPK en chile habanero. La fórmula 350-250-360 fue la mejor, los resultados sugieren aumentar la dosis de fertilización mejora la producción y calidad de los frutos de chile habanero.

Por otro lado, Hemida et al. (2022) demostraron que la aplicación integrada de NPK al suelo y por vía foliar, con un reparto 50-50, mejoró el crecimiento, rendimiento y el contenido en nutrientes de *Capsicum annuum* en suelos arenosos. Castillo-López et al. (2024), en chile Xkat iik (*Capsicum annuum*) bajo microtúneles, demostraron que el tratamiento con una fertilización foliar de 1 L ha⁻¹ de Poliquel multi®, 5 kg ha⁻¹ de Violeta®, 2 kg ha⁻¹ de Polyfeed® (19-19-19) y 0.4 L ha⁻¹ de K-thionic® mejoró el rendimiento de *C. annuum*.

Estos estudios destacan el potencial de los enfoques de fertilización, incluyendo la aplicación integrada suelo-foliar, fertirrigación, para optimizar la producción de *C. chinense* en agricultura protegida. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de diferentes fertilizantes foliares sobre el crecimiento y rendimiento de chile habanero bajo condiciones de casa malla.

2. Metodología

2.1 Sitio experimental

El presente trabajo se desarrolló en una casa malla tipo capilla con una altura de 4,7 m, con una malla anti-trips cristalina (25×40 hilos) con

capacidad de 3,600 plantas, ubicado en el rancho San Nicolás en el municipio de Coquimatlán, Colima, México (19°13'35" latitud N y 103°48'48" latitud O), a 371 msnm. La región se caracteriza por presentar un clima cálido subhúmedo A(w0), con temperaturas promedio que varían entre un mínimo de 19,4 °C y una máxima de 33,8 °C. La precipitación anual es de 869,9 mm.

2.2 Material vegetativo

Se utilizaron semillas de *Capsicum chinense* híbrido "Megalodón", de la empresa Lark seeds®. Se colocó por cada cavidad una semilla de chile habanero (Lark seeds®, EE. UU.) a una profundidad de 1 cm en charolas de polietileno de 200 cavidades. Cada charola se llenó con 4 kg de BM2® (Berger, Canadá) a 60% de humedad, después se cubrieron con bolsas negras por un período de cinco días con el fin de inducir la germinación y emergencia de plántulas. Una vez emergieron las plantas, se retiró la cubierta y se colocaron sobre mesas dentro del invernadero para su respectivo riego y fertilización por 60 días. Las plántulas se fertilizaron dos veces por semana con Triple 19 (1,0 g L⁻¹), Polyfeed® 12-43-12 (2,0 g L⁻¹), Root Factor® (1,0 g L⁻¹) y Maxirad® (0,5 mL L⁻¹).

2.3 Arreglo topológico y trasplante

Se realizaron surcos con un marco de plantación de 1,8 m entre surcos y 0,3 m entre plantas (18.500 plantas ha⁻¹) en suelo con acolchado plástico negro-plata con agujeros cada 30 cm. El trasplante se realizó con plantas de 60 días de edad, las plantas se trasplantaron en la casa malla, después de irrigar los surcos hasta 80% de capacidad de campo. Durante el trasplante, las raíces de las plántulas se sumergieron en una solución de Uniform® (0,5 mL L⁻¹), 12-43-12 Polyfeed® (1 g L⁻¹), Imiglobe® (imidacloprid, 1 g L⁻¹) y Root Factor® (1 mL L⁻¹), como pretratamiento fitosanitario.

2.4 Sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo empleando dos tinacos con una capacidad de 5000 L (Rotoplas®, México). La tubería principal fue de tipo PVC de 2 pulgadas, conectada por medio de codos y tubos a una bomba de gasolina de 2 Hp, a su vez, una tubería de PVC 2 in se empleó como línea principal, la cual se conectó a la cintilla mediante un conector de PVC a cintilla, esta fue de un calibre 8000 mil con un gotero autocompensado a 30 cm de distancia entre sí. El

agua de riego fue de tipo rodado, la cual fue almacenada un día antes del riego.

2.5 Tratamientos

Se evaluaron tres fertilizantes foliares (tratamientos): T1) Fruto grande® (2,5 mL L⁻¹; Nuva, México) + 4-4-50® (10 g L⁻¹; Nuva, México), T2) Fruto grande® (2,5 mL L⁻¹; Nuva, México), T3) 4-4-50® (10 g L⁻¹; Nuva, México), T4) Poliquel multi® (10 mL L⁻¹; UPL, India) y Testigo (sin fertilización foliar). Las aplicaciones se realizaron a los 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante (ddt) vía foliar. Según los fabricantes, los productos contienen: Fruto grande®; ácido gaba aminobutírico (118,0 g L⁻¹), ácido glutámico (130 g L⁻¹), aminoácidos (2,0 g L⁻¹), ácido bórico (16 g L⁻¹), ácido acetilsalicílico (16 g L⁻¹), fósforo (30 g L⁻¹), Zinc (10 g L⁻¹) y silicio (1 g L⁻¹). 4-4-50®; N (g kg⁻¹), P (40 g kg⁻¹) y K (490 g kg⁻¹). Poliquel multi®; mg (1,0%), S (4,0%), B (0,04%), Co (0,002%), Cu (0,04%), Fe (3,0%), Mn (0,25%), Mo (0,005%) y Zn (4,0%).

2.6 Fertilización

Se empleó una fertilización de acuerdo con la etapa fenológica de *C. chinense*, con un plan de N-P-K de 205-170-250 kg ha⁻¹ (Tabla 1).

2.7 Manejo fitosanitario

Para el monitoreo de plagas y enfermedades se realizó la revisión directamente en las plantas, dos veces por semana. Las principales plagas fueron: araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) y ácaro cristalino (*Polyphagotarsonemus latus* Branks), para su combate se aplicaron Tetrasan® (0,5 mL L⁻¹, etoxazole, Valent; México) e Inex® (0,5 mL L⁻¹, alcohol tridecílico polioxietilenado 20,2%, nonil fenol polioxietilenado 5,2% y propilenglicol 5,5%). También se revisó la presencia de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.), trips (*Trips* spp.) y picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano). Para su combate se aplicó Confidor® (imidacloprid, Bayer®), Centurion Ultra® (acefate, Versa®) y Toretto® (sulfoxaflor, Corteva®) cuando se encontró un umbral económico de al menos 3 adultos planta⁻¹ (Llamas-Rodríguez et al., 2024).

2.8 Variables de respuesta

2.8.1 Altura de planta y diámetro de tallo. La altura de la planta (cm) se midió desde la base del tallo hasta el ápice utilizando un flexómetro (Pretul®, PRO-3MEC-5M). El diámetro del tallo (mm) se determinó a 10 cm de la base utilizando un vernier digital (Atverce®, VC 1). Ambas variables se registraron cada 15 d durante un período de 90 días.

Tabla 1

Fertilización del cultivo de chile habanero

Etapa	Fenología	Relación			No. Fertirriegos	N kg ha ⁻¹	P kg ha ⁻¹	K kg ha ⁻¹
		N	P	K				
I	Adaptación (+) 20 días	2	1	1	6	51,3	28,3	27,8
II	Desarrollo 20(+) 30 días	3	1	2	12	76,9	28,3	55,6
III	Fructificación 50+30 días (80)	2	3	2	10	51,3	85,0	55,6
IV	Producción 80+65 días (145)	1	1	4	28	25,6	28,3	111,1
Total		8	6	9	56	205,0	170,0	250,0

2.8.2 Índice de área foliar y clorofila. El índice de área foliar se calculó mediante la multiplicación del largo por el ancho de tres hojas seleccionadas por planta. Para medir el índice de clorofila (IC), se utilizó un medidor de clorofila FieldScout® CM 1000 (EE. UU.), tomando lecturas en las hojas más jóvenes de las plantas entre las 11:00 a.m. y las 12:00 p.m.

2.8.3 Calidad de fruto. Se tomaron 100 frutos por cada tratamiento, incluyendo al testigo, se registró el peso de fruto (g) a través de una balanza digital (Truper®, Base-5EA), el largo (cm) y ancho (cm) de fruto fueron medidos utilizando un Vernier digital (Atverce®, VC 1).

2.8.4 Rendimiento. Se cosecharon y contaron los frutos por cada planta (frutos planta⁻¹) en cada uno de los cortes. Se pesó el total de frutos obtenidos durante la cosecha (kg planta⁻¹), el rendimiento por ha (t ha⁻¹) se obtuvo multiplicando la suma de los pesos obtenidos en las cosechas g/planta por la densidad de plantación.

2.9 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño completo al azar con un factor (fertilizante foliar). Como unidad experimental se emplearon cinco plantas, y se establecieron tres unidades experimentales por tratamiento (15 plantas). Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y comparación de medias con Tukey con un valor de $p=0.05$, los análisis se realizaron con Statgraphics Centurión® (Statgraphics, 2014) para Windows®.

3. Resultados y discusión

3.1. Altura de planta

La Tabla 2 muestra los promedios de la altura de planta. En ninguna evaluación se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$); las alturas de las plantas en los tratamientos oscilaron entre 127,9 y 136,0 cm en la última evaluación a los 90 días

después del trasplante (ddt). La absorción foliar de nutrientes en las hojas en un proceso multifactorial condicionado por la interacción de variables fisicoquímicas, ambientales y fisiológicas. Alcántar-González et al. (2016) destacan la influencia de factores clave como el pH, la concentración y la movilidad del nutriente, así como la acción de surfactantes en la solución. Además, elementos externos como la temperatura, humedad relativa, luz y viento influyen en la adherencia y penetración de los nutrientes en la superficie foliar. A nivel fisiológico, la respuesta de la planta a la fertilización foliar está determinada por la morfología de sus hojas, estatus nutricional y etapa fenológica. Asimismo, Niu et al. (2020) y Cevallos-Carvajal et al. (2022), destacan que la eficacia de la aplicación foliar de fertilizantes se ve influida por muchos factores, entre ellos la especie vegetal y su estado de crecimiento, la composición y las propiedades fisicoquímicas del fertilizante foliar, horario de aplicación y factores ambientales. Estos hechos han sido ampliamente documentados en la literatura por Du Jardín (2015) y Rouphael et al. (2018), quienes ponen en evidencia las limitaciones de los fertilizantes foliares con fines de mejora del desarrollo vegetal. La fertilización foliar es altamente efectiva para corregir deficiencias nutricionales agudas y localizadas en las hojas. Sin embargo; su translocación hacia otros órganos, como las raíces, es limitada.

A diferencia de los fertilizantes aplicados al suelo, los fertilizantes foliares no generan cambios estructurales sistémicos significativas en la planta (Fernández & Brown, 2013; Hemida et al., 2022). Algunos estudios coinciden con los resultados de la presente investigación, al respecto, Shafeek et al. (2014) reportaron que la aplicación de los fertilizantes foliares Nofatrein® y Setrein® no generaron incrementos significativos en el crecimiento vegetativo en *C. annuum*, cuando se comparó con el testigo. De manera similar, Bautista-Hernández (2017) reportó que el uso de fertilizantes foliares y abonos orgánicos en *C.*

annuum no mostró diferencias significativas en la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de hojas respecto al testigo.

3.2. Diámetro de tallo

No se encontraron diferencias significativas en los muestreos a los 7, 15, 30, 45, 60 y 90 ddt ($p > 0,05$). Por otro lado, en el muestro a 75 ddt se encontró diferencia significativa ($p < 0,0042$) (Tabla 3); sin embargo, ninguno de los tratamientos superó al testigo (15,83 mm), el tratamiento más cercano fue Poliquel multi® (15,70 mm). Estos resultados difieren la fertilización foliar en *C. annum*, donde la aplicación de un fertilizante a foliar a base de Fe incrementó la biomasa fresca del tallo en plantas de pimiento (Roosta & Mohsenian, 2012). Asimismo, otros micronutrientes como el Si han mostrado un efecto positivo en el engrosamiento del tallo de *C. annum* cuando es aplicado foliarmente (Karadzhova, 2024).

3.3. Índice de clorofila (IC)

La Tabla 4 describe los promedios del índice de clorofila de plantas de *C. chinense* bajo los tratamientos evaluados. La combinación de Fg + 4-4-50® permitió plantas con mayor índice de

clorofila (580,07) comparado con el testigo (536,68) y a la aplicación individual de cada uno de los fertilizantes foliares (Fg=553,68 y 4-4-50®=544,2). A los 67 ddt, Fg permitió plantas con mayor índice de clorofila (586,5), respecto al testigo (563,33), Poliquel multi® (6560,1) y 4-4-50® (566,8); sin embargo, resultó estadísticamente igual a Fg + 4-4-50® (573,3). A los 75 ddt, 4-4-50 y Fg permitió plantas con mayor índice de clorofila (4-4-50®=654,93 y Fg=643,0), comparado al testigo (575,13), Poliquel multi® (600,6) y la combinación Fg + 4-4-50® (617,07). A los 82 ddt, los cuatro fertilizantes foliares (642,8 - 663,1) incrementaron el índice de clorofila de plantas de *C. chinense* respecto al testigo (597,7). Finalmente, a los 90 ddt, 4-4-50® y Fg permitieron el mayor índice de clorofila (4-4-50®=725,6 y Fg=723,6) respecto al testigo (619,13); sin embargo, resultó estadísticamente igual a la combinación de ambos fertilizantes foliares (697,66).

El contenido de clorofila está involucrado en la síntesis de moléculas que influyen en el crecimiento celular, por lo que es un indicador clave del estado fisiológico de la planta, reflejado en su capacidad fotosintética (Rodríguez-Larramendi et al., 2021).

Tabla 2

Altura de plantas (cm) de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicaciones de fertilizantes foliares

Tratamiento	Días después del trasplante						
	7	15	30	45	60	75	90
4-4-50	24,7±0,49	30,0±0,60	45,0±0,95	75,88±1,57	94,2±2,13	112,0±2,83	129,0±3,17
Fg	25,2±0,59	28,9±0,48	41,55±0,67	74,30±1,09	92,4±2,35	110,8±2,34	127,9±2,94
Fg+4-4-50	24,4±0,70	28,5±0,84	42,98±1,14	71,2±1,72	91,9±2,16	114,0±3,18	136,0±3,75
PM	25,4±0,50	28,9±0,63	42,45±1,08	70,71±1,60	92,9±2,41	112,9±2,97	131,3±2,80
Testigo	24,5±0,50	28,4±0,54	43,37±0,73	73,64±1,38	94,8±2,07	116,6±2,93	135,7±3,21
F=	0,59	0,94	1,87	2,11	0,31	0,60	1,37
P=	0,6712	0,4463	0,1260	0,0885	0,8721	0,6622	0,2522

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($P \leq 0,05$). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50®, PM= Poliquel multi®.

Tabla 3

Diámetro de tallo en plantas (mm) de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicaciones de fertilizantes foliares

Tratamiento	Días después del trasplante						
	7	15	30	45	60	75	90
4-4-50	3,1±0,08	4,73±0,15	7,92±0,23	11,54±0,35	12,85±0,4	14,0±0,50 ^{ab}	16,04±0,52
Fg	3,04±0,10	4,12±0,14	7,63±0,21	10,56±0,27	12,49±0,37	13,73±0,40 ^b	16,13±0,53
Fg +4-4-50	3,18±0,10	4,52±0,15	7,68±0,21	10,95±0,27	12,80±0,29	14,70±0,25 ^{ab}	17,60±0,68
PM	3,02±0,18	4,48±0,26	7,60±0,22	11,02±0,34	13,68±0,44	15,70±0,47 ^a	18,13±0,74
Testigo	3,20±0,08	4,54±0,13	8,37±0,29	11,33±0,34	13,15±0,34	15,83±0,63 ^a	17,66±0,55
F=	0,54	1,65	1,88	1,45	1,47	4,20	2,44
P=	0,7093	0,1726	0,1228	0,2280	0,2219	0,0042	0,0547

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50®, PM= Poliquel multi®.

Tabla 4

Índice de clorofila de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicaciones de fertilizantes foliares

Tratamiento	Días después del trasplante				
	60	67	75	82	90
4-4-50	544,2±3,94 ^{bc}	566,8±3,70 ^b	654,93±4,69 ^a	646,3±5,95 ^a	725,6±2,55 ^a
Fg	553,68±2,67 ^{bc}	586,5±5,01 ^a	643,0±6,40 ^a	663,1±4,17 ^a	723,6±2,10 ^a
Fg + 4-4-50	580,07±3,87 ^a	573,3±5,42 ^{ab}	617,07±5,66 ^b	655,3±7,55 ^a	697,66±2,96 ^{ab}
PM	564,4±9,35 ^{ab}	560,1±5,29 ^b	600,6±3,71 ^b	642,8±8,20 ^a	677,6±3,55 ^b
Testigo	536,68±4,33 ^c	563,3±2,77 ^b	575,13±7,80 ^c	597,7±11,61 ^b	619,13±5,34 ^c
F=	10,18	5,23	30,40	10,43	156,57
P=	0,0001	0,0010	0,0001	0,0001	0,0001

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50®, PM= Poliquel multi®.

Los fertilizantes foliares comenzaron a tener impacto claro en esta variable a partir de los 60 ddt donde, Fruto grande® y 4-4-50® mostraron la mejora más notable en la pigmentación de las hojas en la etapa de crecimiento vegetativo de acuerdo con el índice de clorofila. Hokmalipour & Darbandi (2011) reportaron que el N influye positivamente en el contenido de clorofila en maíz, esto se puede atribuir al hecho de que este elemento es el constituyente de la molécula de clorofila. Además, el nitrógeno es un elemento que las plantas necesitan en grandes cantidades. Forma parte constituyente de la célula vegetal, incluidas las clorofilas, aminoácidos y los ácidos nucleicos (Rodríguez-Larramendi et al., 2021). Barzeger et al. (2020) reportaron que la aplicación de fertilizantes potásicos y nitrogenados incrementó el contenido de clorofila en *Foeniculum vulgare*. Los macronutrientes esenciales como N, P y K juegan un papel clave en la biosíntesis de pigmentos fotosintéticos, en particular, el N es un componente estructural de la porfirina de los pigmentos de clorofila. Kakar et al. (2024) reportaron un incremento en la tasa de fertilización con K elevó el contenido de clorofila en las hojas en un 80,16%. Este efecto podría atribuirse al papel fundamental del potasio en el

metabolismo vegetal, donde participa en los procesos fisiológicos que sustentan el crecimiento y el desarrollo de las plantas, como las interacciones con el agua, la fotosíntesis, el transporte de asimilados, apertura de estomas, síntesis de proteínas y la activación de enzimas (Jin-Li et al., 2022). Asimismo, los resultados del presente estudio concuerdan con lo reportado por García-López et al. (2019) al reportar que las aplicaciones de nanopartículas de Zn como fertilizante foliar incrementó un 22% el índice relativo de clorofila en chile habanero.

3.3 Área foliar

La Tabla 5 muestra los promedios del área foliar de las plantas de *C. chinense*. A los 67 ddt se encontró diferencia estadística significativa ($p \leq 0,0525$). El Poliquel multi® permitió plantas con mayor área foliar con 106,8 cm² respecto al testigo (99,3 cm²); sin embargo, resultó ser estadísticamente igual a Fg (104,7 cm²), 4-4-50® (102,2 cm²) y Fg + 4-4-50® (103,1 cm²). Estos resultados difieren de lo reportado por Al-Hussain & Al-Ebrahemi (2022), quienes reportaron un incremento en el área foliar de *C. annuum* cuando se aplicó un fertilizante foliar a base de micronutrientes nanoencapsulados.

Tabla 5

Área foliar (cm²) de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicaciones de fertilizantes foliares

Tratamiento	Días después del trasplante				
	60	67	75	82	90
4-4-50	72,0±2,48	102,2±1,52 ^{ab}	106,4±1,75	95,8±1,66	80,4±1,21
Fg	77,7±3,02	104,7±1,96 ^{ab}	97,4±6,38	95,36±5,87	78,1±1,0
Fg + 4-4-50	78,5±2,42	103±1,89 ^{ab}	102,2±6,63	94,4±2,34	81,3±1,10
PM	82,9±3,47	106,8±1,53 ^a	106,3±1,67	96,84±1,90	78,9±0,96
Testigo	79,2±1,86	99,3±1,87 ^b	105,5±1,40	96,7±1,43	79,2±1,58
F=	2,13	2,47	0,80	1,18	1,12
P=	0,0862	0,0525	0,5322	0,3271	0,3561

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50®, PM= Poliquel multi®.

3.4 Calidad de fruto

La Tabla 6 muestra las variables de calidad del fruto de *C. chinense*, bajo los tratamientos evaluados. En cuanto al peso, la combinación Fg + 4-4-50® permitió frutos con mayor peso (19,6 g), estadísticamente superior al testigo (16,71 g), Poliquel multi® (17,89 g) y a la aplicación individual de 4-4-50® (17,81 g) y Fg (17,66 g). Respecto al largo del fruto, Fg + 4-4-50® y Poliquel multi® presentaron los valores más altos (55,40 mm y 55,08 mm), en comparación con el testigo (51,61 mm) y 4-4-50® (51,08 mm); sin embargo, resultó estadísticamente igual a Fg (53,10 mm). Finalmente, en el ancho de fruto, Fg + 4-4-50® permitió el valor más alto (41,08 mm), comparado al testigo (37,01 mm) y Fg (39,02 mm); sin embargo, resultó ser estadísticamente igual a Poliquel multi® (39,68 mm) y 4-4-50® (40,42 mm). La combinación Fg + 4-4-50® mostró un incremento de 17,29% en peso, 7,34% en largo y 10,99% en ancho con relación al testigo.

En cuanto a la calidad de fruto, los resultados demostraron que los fertilizantes foliares mejoran significativamente el tamaño y peso de frutos de *C. chinense* en comparación con el testigo. Al respecto, Bautista-Hernández (2016) reportó que la aplicación de Bayfolan Forte® obtuvo el mayor promedio en el peso de frutos, esto se debe principalmente a que es un fertilizante foliar, por lo que la absorción a través de las hojas se lleva a cabo más rápido. De igual forma, Morales-Cunaleta (2024) reportó que la aplicación de Nutramento Ca-B-Zn® durante la etapa de floración y cuajado de fruto mejoró el peso promedio de *Rubus glaucus* en 107%.

La aplicación foliar de micronutrientes como Ca, Mg, B, Zn, S y Fe favorece el crecimiento vegetal, fotosíntesis y el metabolismo celular, promoviendo la división y elongación celular. Esta práctica contribuye a una mayor retención floral, el número, peso de frutos, y, lo cual se traduce en un aumento del rendimiento del cultivo (Latasha et

al., 2023). El hierro participa en la fotosíntesis, ciclo celular, síntesis de hormonas, procesos enzimáticos y transporte de oxígeno, aumentando la foto-asimilación en los frutos, lo cual repercute positivamente en un mejor crecimiento y desarrollo de frutos (Preciado-Rangel et al., 2022).

3.5 Rendimiento

No se encontró diferencia estadística significativa en el rendimiento de *C. chinense* "Megalodón" por efecto de los fertilizantes foliares en las seis cosechas realizadas (Tabla 7). El número de frutos planta⁻¹ oscilaron entre 74,0 (Fruto grande®) a 81,8 (4-4-50®). El rendimiento en kg planta⁻¹ fue de 0,95 (Fruto grande®) a 1,14 (Fg® + 4-4-50®) (Tabla 7). Finalmente, el rendimiento por ha osciló entre 17,67 (Fruto grande®) a 21,04 (Fg® + 4-4-50®) t ha⁻¹ (Tabla 7).

En términos de rendimiento, los fertilizantes foliares no mostraron diferencias significativas. Este resultado coincide con lo reportado por Aragón-Martínez (2023), quien indicó que la combinación de solución nutritiva y fertilización foliar no generó variaciones significativas en comparación con el tratamiento testigo en *Lycopersicon esculentum*. De manera similar, Bentamra et al. (2023) observaron que distintos niveles de fertilización con NPK no generaron diferencias significativas en el rendimiento de *S. lycopersicum*. Sin embargo; estos hallazgos contrastan con estudios en los que la aplicación de fertilizantes foliares sí promovió un mayor rendimiento. Al respecto, Pérez-Espinoza et al. (2017) reportaron que la aplicación de Foligral®, Nutri K-80® y Nutri Humus® mejoró significativamente el rendimiento en jitomate en invernadero. Asimismo, Gajc-Wolska et al. (2018) reportaron que la aplicación combinada de Nano Active® y Nano Active Forte® incrementó el rendimiento en *C. annuum*.

Tabla 6

Calidad de fruto de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicación de fertilizantes foliares

Tratamiento	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)
4-4-50®	17,81±0,33 ^b	51,08±0,68 ^b	40,42±0,48 ^{ab}
Fg®	17,66±0,34 ^b	53,16±0,66 ^{ab}	39,02±0,51 ^b
Fg® + 4-4-50®	19,6±0,34 ^a	55,40±0,75 ^a	41,08±0,45 ^a
PM®	17,89±0,31 ^b	55,08±0,82 ^a	39,68±0,41 ^{ab}
Testigo	16,71±0,31 ^b	51,61±0,61 ^b	37,01±0,44 ^c
F=	9,9	7,59	11,42
P=	0,0001	0,0001	0,0001

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey (P≤0.05). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50®, PM= Poliquel multi®.

Tabla 7

Rendimiento de *Capsicum chinense* "Megalodón" con aplicación de fertilizantes foliares

Tratamiento	Frutos planta ⁻¹	Kg/planta ⁻¹	t ha ⁻¹
4-4-50®	81,8±4,80	1,07±0,08	20,01±1,47
Fg®	74,0±5,62	0,95±0,07	17,67±1,30
Fg® + 4-4-50®	78,54±6,95	1,14±0,10	21,04±1,84
PM®	79,73±6,74	1,08±0,08	19,96±1,60
Testigo	77,86±5,79	1,08±0,09	19,93±1,70
F=	0,23	0,62	0,60
P=	0,9227	0,6512	0,6639

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey (P≤0.05). Fg= Fruto grande®, Fg + 4-4-50®= Fruto grande® + 4-4-50, PM= Poliquel multi®.

4. Conclusiones

La aplicación de los fertilizantes foliares promovió un mayor índice de clorofila con incrementos del 4,42% hasta 17,19%. La combinación de Fruto grande® + 4-4-50® incrementó las variables de peso, ancho y largo de fruta. Poliquel multi® mejoró el ancho y largo de fruta. La combinación de Fruto grande® + 4-4-50® es recomendable para lograr frutos de chile habanero de mayor tamaño. Este resultado contribuye en la mejora de la presentación del producto (fruta) para los mercados de exportación a América del norte. Asimismo, en futuros estudios es importante evaluar el efecto de los fertilizantes foliares sobre las características organolépticas y contenido de fenoles y capsaicinoides del fruto de *C. chinense*.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Darlei Edoardo Cortez Ramírez por su apoyo en el monitoreo fitosanitario de la parcela experimental.

Referencias bibliográficas

- Alcántar-González G., Trejo-Téllez L. I., & Gómez-Merino F. C. (2016). Nutrición de cultivos. 2ª edición. Ed. Biblioteca Básica de Agricultura (bba).
- Al-Hussain, M. A. A.-A., & Al-Ebrahimi, F. K. K. (2022). Effect of magnetically treated water and foliar nano-fertilizer on growth and yield in pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Health Sciences*, 6(S6), 5819–5828. <http://dx.doi.org/10.53730/ijhs.v6nS6.11787>
- Aragón-Martínez, L. B. (2023). Efecto de la aplicación de aminoácidos y fertilizante foliar en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México. 56 pp.
- Barzege, T., Mohammadi, S., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, yield and chemical composition of sweet fennel. *Journal of Plant Nutrition*, 43(8), 1189–1204. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1724306>
- Bautista-Hernández, C. F. (2017). Efecto de diferentes fuentes de nutrición en el potencial productivo de dos variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Biocencia*, 19(1), 17–21. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v19i1.365>
- Bentamra, Z., Medjedded, H., Nemmiche, S., Benkhelifa, M., & dos Santos, D. R. (2023). Effect of NPK fertilizer on the biochemical response of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 15(3), 11516–11516. <https://doi.org/10.55779/nsb15311516>

- Buelna-Tarín, S., Romero-Félix, C. S., Bojórquez-Ramos, C., Lugo-García, G. A. & Sánchez-Soto, B. H. 2024. Bioestimulantes y solución Steiner en crecimiento y producción de *Capsicum annuum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(5), 1–14. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3255>
- Castillo-Aguilar, C. C., Ramírez-Luna, E., Wong-Cámara, C. G., Matos-Pech, G., Chiquini-Medina, R. A., Bautista-Parra, S. G., & Palma-Cancino, D. J. (2024). Yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under different NPK levels in Campeche, México. *Revista Bio Ciencias*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1581>
- Castillo-López, F., Muñoz- Osorio, G. A., Castillo-López, E., López-Tolentino, G., & Marín-Colli, E. E. (2024). Evaluación de diferentes dosis de fertilización química sobre el crecimiento y rendimiento de chile criollo «Xkat iik» (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2023.04.03>
- Cevallos Carvajal, C., Cedeño García, G., Arteaga Alcívar, F., & Velásquez Cedeño, S. (2022). Efectividad de momentos y fuentes de aplicaciones foliares de calcio, boro y zinc en el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(3), 304–317. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-29PVAR10029>
- da Silva-Magalhães, D., Matos-Viegas, I. J., da Silva-Barata, H., García-Costa, M., Cavalcante-da Silva, B. & Watanabe-de Lima, W. Y. 2023. Deficiencies of nitrogen, calcium, and micronutrients are most limiting factors for growth and yield of small pepper plants. *Revista Ceres*, 70(3), 125–135.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2015.09.021>
- Fernández, V., & Brown P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar applied nutrients. *Frontiers Plant Science*, 4, 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
- Gajc-Wolska, J., Mazur, K., Niedzińska, M., Kowalczyk, K., & Żołnierczyk, P. (2018). The influence of foliar fertilizers on the quality and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 183–190. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0008>
- García-López, J. I., Niño-Medina, G., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Vázquez-Alvarado, R., Rodríguez-Salinas, P. A., & Zavala-García, F. (2019). Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants*, 8(8), 254–274. <http://dx.doi.org/10.3390/plants8080254>
- Hemida, K. A., Eloufey, A. Z. A., Hassan, G. M., Rady, M. M., El-Sadek, A. N., & Abdelfattah, M. A. (2022). Integrative NPK soil and foliar application improves growth, yield, antioxidant, and nutritional status of *Capsicum annuum* L. in sandy soils under semi-arid condition. *Journal of Plant Nutrition*, 46(6), 1091–1107. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2046060>
- Hokmalipour, S. & Darbandi, M. H. (2011). Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and other leaf indicate in three cultivars of maize (*Zea mays* L.). *World Applied Sciences Journal*, 15(12), 1780–1785.
- Javier-López, L., Palacios-Torres, R. E., Ramírez-Seañez, A. R., Hernández-Hernández, H., Antonio-Luis, M. C., Yam-Tzec, J. A., & Chaires-Grijalva, M. P. (2022). Producción de chile

- habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en lombricomposta con fertilización orgánica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3348>
- Jing Li, Wenshi Hu, Zhifeng Lu, Fanjin Meng, Rihuan Cong, Xiaokun Li, Tao Ren, & Jianwei Lu (2022). Imbalance between nitrogen and potassium fertilization influences potassium deficiency symptoms in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) leaves. *The Crop Journal*, 10, 565-576. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.06.001>.
- Kakar, K., Wahocho, N. A., Memon, N.-U.-N., Jamro, G. M., kandhro, M. N., Anwar, M., & Nageebullah. (2024). Assessing the effect of potassium nutrition on the chilies (*Capsicum annuum* L.) nursery growth and production. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 5(02), 183-189. <https://doi.org/10.38211/joarps.2024.05.235>
- Karadzova, N. (2024). Effect of silicon foliar fertilization on limiting the growth of stem and root necrosis in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 30(3), 418-422.
- Krishnasree, R., Raj, S. K., & Chacko, S. R. (2021). Foliar nutrition in vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 2393-2398. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1ah.13716>
- Lara-Capistrán, L., Aquino-Bolaños, E. N., Vera-Guzmán, A. M., Hernández-Montiel, L. G., Contreras-Martínez, G. & Alemán-Chávez, I. 2025. Efecto de fertilizantes órgano-minerales y lombricomposta sobre parámetros morfofisiológicos y capsaicinoides en *Capsicum chinense* Jacq. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(113), 1-13. <https://doi.org/10.56369/tsaes.6208>
- Latasha Yadav, Rajendra-P., Maurya, DC, Meena, SK Yadav, Ashok Kumar, Vikram Yadav. (2023). Effect of micronutrients on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) cv. pant C-1. *The Pharma Innovation Journal*, 12, 10, 2372-2376.
- Llamas-Rodríguez, D. D., Chan-Cupul, W., García-López, F. A., & Hernández-Ortega, H. A. (2024). Rendimiento de dos híbridos de *Capsicum chinense* Jacq. en bolsas de cultivo con fibra de coco. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 28, 43-54. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.24.28.04>
- López-Puc, G., Rodríguez-Rodríguez, J. D., Ramírez-Sucre, M. O., & Rodríguez-Buenfil, I. M. (2020). Manejo agronómico y los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero. En Rodríguez-Buenfil, I. M., & Ramírez-Sucre, M. O. *Metabólica y cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) de la Península de Yucatán*. (pp.4-23). Ed. CIATEJ-CONACYT.
- Morales-Cunaleta, E. M. (2024). *Evaluación del efecto de fertilizantes foliares en el cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth)*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Ambato. 76 pp. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/df4a7493-71e3-48fc-bb30-1ec607db7898>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Vázquez-Hernández Andrés, Martínez-García, A. de J., & Luria-Moctezuma, R. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1443-1481. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2900>
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil and Plant Nutrition*, 21, 104-118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Pérez-Espinoza, H. A, Chávez- Morales, J., Carrillo- Flores, G., Rodríguez- Mendoza, M. de las N., & Ascencio- Hernández, R. (2017). Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 333-343. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.54>
- Preciado-Rangel, P., Valenzuela-García, A. A., Pérez-García, L. A., González-Salas, U., Ortiz-Díaz, S. A., Buendía-García, A., & Rueda Puente, E. O. (2022). La biofortificación foliar con hierro mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 40, e1060. Epub 23 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1060>
- Ramírez-Ramírez, R., Ruiz-Aguilar, M. Y., López-López, H., García-Sánchez, A. N. & López-López, G. F. 2024. Evaluación del rendimiento de *Capsicum chinense* (Jacq.) en Chiapas mediante diferentes estrategias de fertilización inorgánica. *Cuba Revista Electrónica Medio Ambiente y Desarrollo*, 24, 1-7.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. A., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Cruz-Macias, W. O., Cruz-Morales, M., ... & Guevara-Hernández, F. (2021). Efecto fisiológico de la disponibilidad de agua y nitrógeno en plantas de guayaba. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 24, 19.
- Roosta, H. R., & Mohsenian, Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in aquaponics system. *Scientia Horticulturae*, 146, 182-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.018>
- Rouphael, Y., Colla, G., Giordano, M., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., & De Pascale, S. (2018). Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, 226, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.007>
- Schjoerring, Jan K. & de Castro, Saulo A.Q. (2023): Knowledge synthesis on foliar nitrogen and phosphorus fertilization. University of Copenhagen, Department of Plant and Environmental Sciences, Thorvaldsensvej 40, 1871 Frederiksberg C. 75 pp.
- Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023) Anuario estadístico de producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shafeek, M. R., Helmy, Y. I., Awatef, G. B., Rizk, F. A., & Omar, N. M. (2014). Foliar application of some plant nutritive compounds on growth, yield and fruit quality of hot pepper plants (*Capsicum annuum*, L.) grown under plastic. *Current Science International*, 3(1): 1-6.
- Statgraphics Centurión, X. V. I. Statpoint Technologies. INC. versión, 16, 17. 2014.

