

Short Note [Nota Corta]



Efecto de la aplicación foliar de estimulantes en el crecimiento, fisiología y rendimiento de chile X'catik (*Capsicum annuum* L.) †

[Effect of foliar application of stimulants on the growth, physiology and fruit yield of X'catik chili pepper (*Capsicum annuum* L.)]

Ana L. Ruiz-Jiménez^{1*}, Fátima del R. Yam-Herrera¹,
Joaquín Sergio López-Vázquez¹, Juan Díaz-Mayo¹, Luis Latournerie-Moreno¹
and Rene Garruña-Hernández²

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email:

aruiz_ji@hotmail.com

²CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Stimulants act on the plant to improve its vigor, biomass, fruit yield, and quality. **Objective.** To evaluate the effect of the application of stimulants (Biozyme, Activol, and Grofol+Aminofit) on the vegetative development and yield of X'catik chili pepper under greenhouse conditions. **Methodology.** Stimulants were applied foliarly for four weeks in two independent experiments. Experiment one was conducted during vegetative development, and experiment two during the flowering stage. In experiment one, growth and physiological variables were evaluated, and in experiment two, the number of fruits, fruit weight, and yield were evaluated. **Results.** Activol increased stem height, and Grofol+Aminofit increased the number of leaves and plant dry weight. In fruit yield, plants treated with Activol had lower yields (1.55 kg total weight) than the control. The remaining treatments showed no differences from the control. **Implication.** The use of stimulants could be an option to improve the growth of X'catik chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **Conclusion.** Activol increased stem height but did not affect total fruit yield. Also, no distinct pattern of the effect of stimulants on plant physiology was observed.

Key words: stimulants; growth; yield; vegetables crops.

RESUMEN

Antecedentes. Los estimulantes actúan sobre la planta para mejorar su vigor, biomasa, rendimiento de fruto y calidad de fruto. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la aplicación de estimulantes (Biozyme, Activol y Grofol+Aminofit) en el desarrollo vegetativo y el rendimiento de chile X'catik en condiciones de invernadero. **Metodología.** Los estimulantes se aplicaron de manera foliar, durante cuatro semanas en dos experimentos independientes. El experimento uno se hizo en etapa de desarrollo vegetativo y el experimento dos en etapa de floración. En el experimento uno, se evaluaron variables de crecimiento y variables fisiológicas, en el experimento dos, se evaluó el número de frutos, el peso por fruto y el rendimiento. **Resultados.** El Activol causó aumento significativo de la altura del tallo y el Grofol+Aminofit causó aumento del número de hojas, así como del peso seco de las plantas. En cuanto al rendimiento de fruto, las plantas tratadas con Activol tuvieron menor rendimiento (1.55 kg de peso total) comparado con el control; el resto de los tratamientos no tuvo diferencias del control. **Implicación.** El uso de estimulantes podría ser una opción para mejorar el crecimiento de chile X'catik (*Capsicum annuum* L.). **Conclusión.** El uso de Activol tuvo efectos positivos en la altura del tallo, pero no en el rendimiento total. Tampoco se observó un patrón definido del efecto de los estimulantes sobre la fisiología de las plantas.

Palabras clave: estimulantes; crecimiento; rendimiento de fruto; producción de hortaliza.

† Submitted December 17, 2023 – Accepted October 31, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5354>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = A.L. Ruiz-Jiménez: <http://orcid.org/0009-0000-0871-7522>

INTRODUCCIÓN

Los estimulantes vegetales son potenciadores naturales del crecimiento que estimulan el rendimiento de los cultivos a través de mayor absorción y eficiencia de nutrientes, mejor tolerancia al estrés biótico y abiótico y mejora de las actividades rizosféricas (du Jardin, 2015). Dentro de los cuales podemos encontrar preparados a base de hormonas, ácidos húmicos, proteínas hidrolizadas, aminoácidos libres, derivados de quitosano, extractos de algas y de plantas o inoculantes microbianos. El efecto positivo que los estimulantes generan en las plantas se debe principalmente a los compuestos bioactivos (Zulfikar *et al.*, 2019), como son los elementos minerales, aminoácidos, oligosacáridos y fitohormonas (Bulgari *et al.*, 2019; Renaut *et al.*, 2019). Los estimulantes pueden ejercer varios efectos en las diferentes etapas del ciclo de vida de una planta, tales como aumento en la germinación, incremento en número de raíces laterales y crecimiento de la raíz, también aumento de la biomasa aérea, mayor número, tamaño y rendimiento de frutos (du Jardin, 2015; Ngoroyemoto *et al.*, 2019; Colla *et al.*, 2020). En cultivos de la familia Solanaceae se ha reportado una serie de efectos positivos, por ejemplo, incremento de biomasa vegetal y mejora en la germinación de las semillas (Caruso *et al.*, 2019; Drobek *et al.*, 2019; Silvana *et al.*, 2019; Dong *et al.*, 2020;), también aumento en el crecimiento de las plántulas y producción de biomasa vegetal (Shahrajabian *et al.*, 2021).

En México *Capsicum annuum* L. ocupa el segundo lugar en volumen de producción, aunque se cultivan varias especies de este género, *C. annuum* es la de mayor importancia (López *et al.*, 2019; Castillo-Aguilar *et al.*, 2021). En la península de Yucatán se encuentran variantes como el chile X'catik (*C. annuum*), que tiene gran demanda en el mercado por su potencial para ser materia prima en la elaboración de condimentos, encurtidos, entre otros (Basulto y León, 2021; Peñuela *et al.*, 2021). Este chile es moderadamente picante, lo que le confiere un sabor agradable, es cultivado en campo y en pequeñas superficies en invernaderos (Hernández-Pérez *et al.*, 2020; Peñuela *et al.*, 2021), donde se obtienen bajos rendimientos en el cultivo, debido al desconocimiento de los productores sobre los esquemas de nutrición por etapas, falta de tecnologías de producción y de conocimiento del uso de estimulantes que incrementen la productividad. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de estimulantes en el crecimiento y en la producción de fruto de chile X'catik bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y establecimiento del cultivo

El experimento se realizó en un invernadero rústico (temperatura 25-38°C, humedad relativa 70-90 % y fotoperiodo 14 h luz:10 h oscuridad), en el área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, ubicado a 15 km al noreste de Mérida a 21° 4' N y 89° 31' O a una altitud de 10 m, con un suelo tipo Leptosol con pH de 7.6 y 17.76 % de materia orgánica; y contenido de N:P:K de 68.4, 228 y 810 ppm; Na, Ca y Mg: 1560, 6000 y 900 ppm.

Las plantas de chile X'catik (*C. annuum* L.) de 40 días de edad se establecieron a una distancia de siembra de 0.30 m entre plantas en líneas con 1.50 m de separación, las plantas se establecieron en camas de 50 cm de ancho. Para la fertilización se usó la fórmula N:P:K en proporción 200:150:180 (kg/ha) para el ciclo de 180 días de acuerdo con Gamboa-Angulo *et al* (2020) (Tabla 1). La fertilización se hizo dos veces por semana por medio del riego, utilizando un sistema de fertirriego por goteo (cintilla) de 5/4 calibre 6000 con un gasto de 1.5 litros por hora.

Para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) se realizaron dos aplicaciones de imidacloprid (Confidor® 350 SC, 3 ml/L agua) a los 15 y 30 días después del trasplante.

Tabla 1. Fertilización en kg por etapa fenológica de chile X'catik (*C. annuum*) tomado como base a la densidad de 20000 plantas/h.

Etapa fenológica	Días después del trasplante	Cantidad de fertilizante		
		N	P	K
Adaptación	1-15	37.5	22.5	30.5
Crecimiento	16-34	75.5	30.5	44
Floración	36-60	42	60.5	50.5
Cosecha	61-160	45	36.5	55

Descripción de los tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación de estimulantes comerciales y un control (Tabla 2). Se aplicaron dos dosis diferentes de los estimulantes que consistieron en Biozyme 1 ml/L (0.5 L/ha) y 2 ml/L (1 L/ha), Activol 0.2 g/L (100 g/ha) y 0.4 g/L (200 g/ha) y una mezcla de Grofol + Aminofit 2 g/L + 2 ml/L (1 kg/ha + 1 L/ha) y 4 g/L + 4 ml/L (2 kg + 2 L/ha) en dos experimentos independientes. El experimento uno consistió en la aplicación de los tratamientos durante el crecimiento vegetativo, y el experimento dos, durante la etapa de floración/fructificación. La

aplicación de los tratamientos se realizó una vez por semana de manera foliar, durante 4 semanas consecutivas.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con 7 tratamientos y cuatro bloques (repeticiones). Las parcelas experimentales contenían 20 plantas. Todas fueron tratadas con los estimulantes.

Experimento uno: Evaluación de estimulantes en crecimiento vegetativo y fisiología

Se realizaron cuatro aplicaciones a intervalos semanales iniciando una semana después del trasplante. La aplicación se hizo con un atomizador manual dirigiendo la aspersión al follaje hasta lograr la cobertura total y el punto de goteo.

Para las variables de crecimiento se seleccionaron cinco plantas por parcela y se etiquetaron para permitir mediciones a lo largo del experimento. Se midió la altura de planta (cm) con un flexómetro, desde la base del tallo hasta el ápice terminal. El diámetro de tallo (mm) se midió con un vernier a los tres cm de la superficie del suelo, y se registró el número de hojas. Las mediciones se realizaron a los 15 y 30 días después de la primera aplicación de los estimulantes.

La biomasa seca se evaluó 64 días después de trasplante (ddt) mediante un muestreo destructivo, seleccionando al azar tres plantas por parcela experimental. Las plantas se separaron en hojas, tallo y raíz, y las muestras se secaron en una estufa

convencional a 65 °C durante siete días. Al finalizar este proceso, se pesaron en una balanza para determinar su peso (g).

Las variables fisiológicas evaluadas fueron la tasa de asimilación neta de CO₂ (A_N), la conductancia estomática (g_e), el carbono intercelular (C_i), la transpiración (E) y la eficiencia de uso de agua (EUA). Estas mediciones se realizaron a los 64 ddt, entre las 8:00 h y las 10:00 h. Se seleccionó una planta al azar por parcela experimental, a la cual se le hicieron cinco mediciones en hojas nuevas completamente extendidas (Garruña-Hernández *et al.*, 2014), utilizando un analizador de gases infrarrojo (LICOR LI-6400, Lincoln, Nebraska, Estados Unidos).

Experimento dos: Evaluación de estimulantes en rendimiento de fruto

Se realizaron cuatro aplicaciones a intervalos semanales iniciando el día 60 ddt. La aplicación se hizo con una aspersora manual de mochila dirigiendo la aspersión al follaje hasta lograr la cobertura total y el punto de goteo.

Para las variables relacionadas con el rendimiento se seleccionaron y etiquetaron tres plantas al azar por parcela. Se realizaron cinco cortes de frutos en estado de madurez comercial. De la producción total se contabilizó el número de frutos por planta, el peso promedio de un fruto (g) y el rendimiento total (kg/planta).

Tabla 2. Tratamientos a base de estimulantes evaluados en plantas de chile X'catik (*C. annuum*) bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Producto comercial (Ingrediente)-dosis/ha	Dosis L de agua	Compañía
Biozyme	Biozyme (Extracto vegetal 78.87% p/p, microelementos totales 1.86% p/p). 0.5 L/ha. Presentación 1 L.	1 ml/L 2 ml/L	Arysta Life Science México
Activol	Activol (ácido giberélico 400 g / kg). 100 g/ha. Presentación 2.5 g.	0.2 g/L 0.4 g/L	Valent México
Grofol+	Grofol (Nitrógeno:Fósforo:Potasio 20:30:10, microelementos y ácido giberélico 12 ppm). 1 kg/ha. Presentación 1 kg.	2 g/L + 2 ml/L 4 g/L + 4 ml/L	Arysta Life Science México.
Aminofit	Aminofit (Glicina 800 mg, Valina 40 mg, Prolina 350 mg, Hidroxiprolina 300 mg, Alanina 350 mg, Ác. Aspártico 680 mg, Arginina 80 mg, Ác. Glutámico 225 mg, Lisina 345 mg, Leucina 50 mg, Isoleucina 125 mg, Fenilalanina 145 mg, Metionina 25 mg, Serina 140 mg, Asparagina 125 mg, Treonina 120 mg, Cistina y Cisteína 85 mg, Tirosina 88 mg e Histidina 102 mg). 1 L/ha. Presentación 1 L.		Promotora técnica industrial S.A de C.V
Control	Agua		

Análisis de datos

A los datos se les realizó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianza (Levene). Posteriormente se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) con el paquete estadístico InfoStat versión 2020.

RESULTADOS

Efecto de los estimulantes en el crecimiento y fisiología

En las variables de crecimiento vegetal, se registró un aumento significativo en la altura de las plantas tratadas con Activol (0.2 g/L) en las evaluaciones realizadas a los 15 y 30 días después de la aplicación (DDA) en comparación con las plantas del control y las tratadas con Biozyme (1 ml/L y 2 ml/L) y Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L). En cuanto al diámetro del tallo, los tratamientos Biozyme (1 ml/L), Activol (0.2 g/L) y Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L) mostraron un aumento significativo a los 15 días DDA, en comparación con las plantas tratadas con Biozyme (2 ml/L). Sin embargo, a los 30 DDA no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el

control. Respecto al número de hojas, el tratamiento Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L) estimuló un incremento en los valores promedios de esta variable tanto a los 15 como a los 30 DDA (Tabla 3).

En los análisis de biomasa seca de raíz, tallo y hoja, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). Sin embargo, las plantas tratadas con Biozyme (2 ml/L) mostró la mayor cantidad de biomasa seca de raíz (8.5 g), tallo (3.6 g) y hoja (7.3 g). Le siguió Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L) con valores de 7.1 g de raíz, 3.2 g tallo y 6.8 g de hoja, en comparación con las plantas control (Tabla 4).

En las variables fisiológicas, se observó que la tasa de asimilación neta de CO_2 (A_N), conductancia estomática (g_s), carbono intercelular (C_i) y transpiración (E) fueron mayores en las plantas tratadas con Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L) en comparación con los demás tratamientos y el control. En cuanto a la eficiencia de uso de agua, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Las plantas tratadas con Biozyme a una dosis de 2 ml/L presentaron valores más altos (2.68 ± 0.04) (Tabla 5).

Tabla 3. Efecto de estimulantes en el crecimiento de chile X'catik (*C. annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas
15 DDA			
Control (sin estimulante)	20.9 ± 1.9 b	2.1 ± 0.03 ab	11.8 ± 1.3 b
Biozyme (1 ml/L)	27.6 ± 1.4 b	2.5 ± 0.03 a	12.6 ± 0.8 ab
Biozyme (2 ml/L)	20.0 ± 1.4 b	1.4 ± 0.02 b	12.5 ± 1.4 ab
Activol (0.2 g/L)	32.2 ± 2.3 a	2.5 ± 0.02 a	13.3 ± 1.1 ab
Activol (0.4 g/L)	24.8 ± 2.6 ab	1.9 ± 0.02 ab	13.8 ± 1.7 ab
Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L)	19.4 ± 1.2 b	2.1 ± 0.01 ab	10.9 ± 0.8 b
Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L)	24.8 ± 1.3 ab	2.8 ± 0.02 a	18.1 ± 2.0 a
DMS	7.6	0.09	5.9
CV (%)	26.0	35.2	36.1
30 DDA			
Control (sin estimulante)	28.8 ± 2.8 b	2.9 ± 0.04 a	27.6 ± 5.2 ab
Biozyme (1 ml/L)	33.6 ± 1.9 b	3.1 ± 0.03 a	32.3 ± 4.8 ab
Biozyme (2 ml/L)	30.2 ± 2.8 b	2.2 ± 0.02 a	24.8 ± 3.7 b
Activol (0.2 g/L)	46.7 ± 3.3 a	3.0 ± 0.02 a	25.1 ± 2.4 b
Activol (0.4 g/L)	39.5 ± 3.6 ab	2.5 ± 0.03 a	23.3 ± 3.2 b
Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L)	30.1 ± 1.9 b	2.9 ± 0.03 a	23.0 ± 3.2 b
Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L)	38.5 ± 42.8 ab	3.3 ± 0.03 a	44.8 ± 7.2 a
DMS	12.5	0.11	19.1
CV (%)	27.7	37.15	54.03

Medias (\pm EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Efecto de los estimulantes en rendimiento de fruto

El efecto de los estimulantes en el peso promedio de frutos y rendimiento (kg/planta) no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) (Tabla 6). El peso promedio de frutos estuvo en el rango de 28.5 a 35.1 g, mientras que el rendimiento por planta osciló entre de 1.55 a 5.02 kg. En cuanto al número total de frutos, los

resultados mostraron que las plantas control produjeron un mayor número de frutos (169 ± 42.0) en comparación con las tratadas con activol a dosis de 0.2 g/L (32.75 ± 9.9) y 0.4 g/L (41.25 ± 5.1), siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$). Por otro lado, los demás tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al control.

Tabla 4. Efecto de estimulantes en la producción de biomasa seca de raíz, tallo y hoja en chile X'catik (*C. annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Raíz (g)	Tallo (g)	Hojas (g)
Control (sin estimulante)	3.1 ± 1.1 a	1.5 ± 0.4 a	3.9 ± 1.1 a
Biozyme (1 ml/L)	4.1 ± 0.4 a	2.9 ± 0.2 a	4.8 ± 0.5 a
Biozyme (2 ml/L)	8.5 ± 4.2 a	3.6 ± 1.0 a	7.3 ± 2.9 a
Activol (0.2 g/L)	6.9 ± 1.3 a	2.9 ± 0.3 a	4.4 ± 1.2 a
Activol (0.4 g/L)	4.5 ± 1.5 a	2.1 ± 0.3 a	1.9 ± 0.7 a
Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L)	5.4 ± 1.3 a	2.8 ± 0.8 a	5.4 ± 1.5 a
Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L)	7.1 ± 1.6 a	3.2 ± 0.7 a	6.8 ± 1.9 a
DMS	9.0	2.9	7.4
CV (%)	69.7	47.7	65.3

Medias (\pm EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Tabla 5. Valores de las variables fisiológicas de chile X'catik (*C. annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	A _N $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	g _e $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	C _i $\mu\text{mol mol}^{-1}$	E $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	EUA
Control (sin estimulante)	13.3 ± 0.6 ab	0.35 ± 0.02 b	300.6 ± 0.7 a	7.3 ± 0.22 ab	1.81 ± 0.02 cd
Biozyme (1 ml/L)	13.3 ± 1.1 ab	0.26 ± 0.03 cd	276.0 ± 4.8 b	5.9 ± 0.47 cd	2.25 ± 0.11 b
Biozyme (2 ml/L)	12.1 ± 0.4 bc	0.16 ± 0.00 e	244.6 ± 2.1 c	4.5 ± 0.08 e	2.68 ± 0.04 a
Activol (0.2 g/L)	11.9 ± 0.3 bc	0.31 ± 0.00 bc	301.4 ± 2.0 a	6.9 ± 0.04 bc	1.72 ± 0.04 d
Activol (0.4 g/L)	12.7 ± 0.4 abc	0.35 ± 0.02 b	302.2 ± 1.7 a	7.5 ± 0.29 ab	1.72 ± 0.03 d
Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L)	14.9 ± 0.4 a	0.46 ± 0.03 a	303.7 ± 3.2 a	8.5 ± 0.36 a	1.79 ± 0.05 cd
Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L)	10.5 ± 0.8 c	0.19 ± 0.01 de	273.4 ± 7.6 b	5.0 ± 0.28 de	2.10 ± 0.15 bc
DMS	2.5	0.08	16.3	1.2	0.3
CV (%)	18.6	26.9	5.1	16.96	14.6

Medias (\pm EE) con diferente letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Tabla 6. Rendimiento de chile X'catik (*C. annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Número de frutos totales	Peso promedio de un fruto (g)	Rendimiento (kg/planta)
Control (sin estimulante)	169 ± 42.0 a	29.9 ± 0.7 a	5.02 ± 1.3 a
Biozyme (1 ml/L)	134.75 ± 34.5 ab	30.7 ± 2.6 a	4.06 ± 1.0 a
Biozyme (2 ml/L)	115 ± 34.5 ab	33.8 ± 3.4 a	3.63 ± 0.92 a
Activol (0.2 g/L)	32.75 ± 9.9 b	35.1 ± 9.8 a	1.55 ± 0.41 a
Activol (0.4 g/L)	41.25 ± 5.1 b	32.5 ± 7.4 a	2.19 ± 0.32 a
Grofol + Aminofit (2 g/L + 2 ml/L)	82.75 ± 16.9 ab	28.5 ± 2.4 a	2.55 ± 0.45 a
Grofol + Aminofit (4 g/L + 4 ml/L)	96.25 ± 19.3 ab	28.8 ± 1.7 a	2.87 ± 0.67 a
DMS	122.1	23.3	3.7
CV (%)	55.3	32.3	52.4

Medias (\pm EE) con diferente letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

DISCUSIÓN

En este estudio, se evaluó el efecto de distintos estimulantes, incluyendo al ácido giberélico (Activol), otro a base de extractos vegetales y microelementos (Biozyme), y otro que combina macroelementos, microelementos y aminoácidos (Grofol+Aminofit). Los resultados indican que la aplicación de estos estimulantes influye positivamente en el crecimiento vegetal, la biomasa seca y el rendimiento del fruto de chile X'catik. Entre todos los estimulantes evaluados, el Activol (ácido giberélico, 0.2 g/L) mostró un efecto significativo en la altura de las plantas; sin embargo, es importante destacar que este efecto no se reflejó en un incremento de la biomasa. Se ha documentado que el ácido giberélico promueve la elongación del tallo durante el crecimiento vegetativo (Binenbaum *et al.*, 2018; Peng *et al.*, 2020). Varios estudios en especies cultivadas de la familia Solanácea, como tomate y chile, han reportado el efecto del ácido giberélico sobre la elongación del tallo debido al estímulo de la división celular (Kumar *et al.*, 2014; Maboko y Du Plooy 2015; Serna *et al.*, 2017; Naga *et al.*, 2022). Por otro lado, el tratamiento con Grofol+Amonofit (4 g/L + 4 ml/L) resultó en un incremento en el número de hojas y producción de biomasa seca de hoja, tallo y raíz. Esto puede atribuirse al contenido de macroelementos y microelementos del Grofol, así como a los aminoácidos del Aminofit, que probablemente mejoran la formación endógena de proteínas y la condición general de la planta a través de una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales (Colla *et al.*, 2017; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2022). La misma tendencia se observó con el tratamiento Biozyme a dosis de 2 ml/L, que también resultó en una mayor producción de biomasa seca tanto en hojas, tallo y raíz.

En relación con la respuesta fisiología de las plantas, se observó que la tasa de asimilación neta, conductancia estomática, carbono intercelular y transpiración fueron mayores en las plantas tratadas con Grofol+Aminofit (2 g/L + 2 ml/L). La relación entre la asimilación neta y la conductancia estomática es directa, lo que implica que un aumento en la conductancia estomática generalmente resulta en un incremento en la asimilación neta de CO₂ (Bertolino *et al.*, 2019). Esto sugiere que las plantas tratadas con Grofol+Aminofit (2 g/L + 2 ml/L) presentaron condiciones fisiológicas más favorables. No obstante, el uso eficiente del agua es un indicador clave de cómo las plantas gestionan la transpiración en relación con su capacidad de crecimiento y producción biomasa (Noxolo *et al.*, 2020). En este contexto, el tratamiento con Biozyme mostro valores altos, lo que indica una mayor eficiencia en el uso del agua. Esto sugiere que, aunque Grofol+Aminofit mejoro ciertos aspectos fisiológicos, el tratamiento Biozyme podría ser más eficaz en la optimización del uso de agua, lo que es

crucial para el rendimiento en condiciones de estrés hídrico.

En el experimento de rendimiento, se encontró que los tratamientos no tuvieron efectos significativos en el peso promedio de los frutos ni en el rendimiento total. Sin embargo, el número de frutos fue significativamente menor en las plantas tratadas con Activol (ácido giberélico). Esta disminución podría estar relacionada con la formulación del Activol (ácido giberélico), que, si bien estimula la división celular, también inhibe la formación de flores, amarre de frutos y su posterior crecimiento (Gupta y Chakrabarty, 2013; Tian *et al.*, 2017). Las plantas que presentan niveles elevados de ácido giberélico tienden a destinar la mayor parte de los nutrientes absorbidos al alargamiento de tallos, al desarrollo de hojas y otros órganos vegetativos, en lugar de priorizar la formación de frutos (De Jong *et al.*, 2009; Diwan *et al.*, 2022). Existen reportes que indican que altas concentraciones de ácido giberélico puede resultar en una disminución de la producción de frutos, lo que a su vez conduce a un bajo rendimiento en chile (Maboko y Du Plooy, 2015). Además, Serna *et al.* (2017) documentaron que un exceso de ácido giberélico puede interferir con el desarrollo normal de las flores y frutos, ocasionando así una disminución en el rendimiento. Pichardo-González *et al.* (2018) también señalaron que, a ciertas concentraciones el ácido giberélico puede tener efectos negativos en el rendimiento de chile jalapeño.

CONCLUSIÓN

En general, aunque algunos tratamientos mostraron efectos positivos en la etapa de crecimiento vegetativo, estos no siempre se mantuvieron a los 30 días después de la aplicación, lo que sugiere que el impacto de los estimulantes puede variar con el tiempo. El Activol a una dosis de 0.2 g/L contribuyó significativamente al aumento de la altura de las plantas. Por otro lado, Biozyme (2 ml/L) destacó por su capacidad para generar la mayor biomasa seca en hojas, tallo y raíz, lo que indica su potencial para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas de chile X'catik. Los estimulantes Grofol+Aminofit (4 g/L + 4 ml/L) mejoraron las variables fisiológicas, mientras que Biozyme (2 ml/L) resaltó en la eficiencia del uso de agua. Esto sugiere que cada producto desempeña un papel específico.

En la etapa de floración y fructificación, el Activol (0.2 g/L) presento menor número de frutos, lo que indica que este estimulante podría interferir con la formación de frutos.

Funding. The authors thank CONAHCYT Mexico for the postdoctoral scholarship to A.L. Ruiz-Jiménez (CVU 297470)

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. The data is available upon request, with the corresponding author aruiz_ji@hotmail.com.

Author contribution statement (CRediT). A.L. Ruiz-Jiménez – Conceptualization, methodology, visualization and writing original draft. F. del R. Yam-Herrera – Methodology and formal analysis. J.S. López-Vázquez – Methodology and validation. J. Díaz-Mayo – Formal analysis. L. Latournerie-Moreno – Conceptualization, resources, supervision, writing review and editing. R. Garruña-Hernández – Methodology, visualization, and validation.

REFERENCES

- Basulto, F.S. and León, M.J.Z., 2021. Estados de maduración de frutos de chile Xcat ik (*Capsicum annuum* L) y su relación con el periodo de almacenamiento en la germinación de las semillas. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), pp. 4674–4683. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-145>
- Bertolino, L.T., Caine, R.S., Gray, J. E., 2019. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a Changing World. *Frontiers in Plant Science*, 10, p. 225. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00225>
- Binenbaum, J., Weinstain, R., Shani, E., 2018. Gibberellin localization and transport in plants. *Trends in Plant Science*, 23(5), pp. 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.02.005>
- Bulgari, R., Franzoni, G. and Ferrante, A., 2019. Biostimulants Application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9, p. 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Bonini, P., Roupshael, Y., 2019. Yield and nutritional quality of vesuvian piennolo tomato PDO as affected by farming system and biostimulant. *Application Agronomy*, 9, p. 505. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090505>
- Castillo-Aguilar, C. C., Castilla, L. L., Pacheco, N., Cuevas-Bernardino, J. C., Garruña, R. R., Andueza-Noh, R. H., 2021. Phenotypic diversity and capsaicinoid content of chilli pepper landraces (*Capsicum* spp.) from the Yucatan Peninsula. *Plant Genetic Resources*, 19(2), pp. 159–166. <https://doi.org/10.1017/S1479262121000204>
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R. and Roupshael, Y., 2017. Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, p. 2202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Colla, G., Roupshael, Y., 2020. Editorial: Microalgae: New Source of Plant Biostimulants. *Agronomy*, 10, p. 1240. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091240>
- De Jong, M., Mariani, C., Vriezen, W. H., 2009. The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. *Journal of Experimental Botany*, 60(5), pp. 1523–32. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp094>
- Diwan, G., Chandola, J. Ch., Shiurkar, G., Lal, N., 2022. Potential role of plant growth regulators on horticultural crops. *Scientist*, 1(3), pp. 3202–3216. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7336714>
- Dong, C., Wang, G.G., Du, M., Niu, C., Zhang, P., Zhang, X., Ma, D., Ma, F., Bao, Z., 2020. Biostimulants promote plant vigor of tomato and strawberry after transplanting. *Scientia Horticulturae*, 267, p. 109355. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109355>
- Drobek, M., Frac, M., Cybulska, J., 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. *Agronomy*, 9, p. 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- du Jardin, P., 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories, and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, pp. 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Garruña-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A., Canto, A., 2014. Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. *PLoS ONE*, 9, p. e111402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>
- Gupta, R., Chakrabarty, S. K., 2013. Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant*

- Signaling and Behavior*, 8(9), p. e25504.
<https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M.D.R., Valverde, M.E. and Paredes-López, O., 2020. *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), pp. 2972–2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- Kumar, A., Biswas, T. K., Singh, N., Lal, E.P., 2014. Effect of Gibberellic Acid on Growth, Quality and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(7), pp. 28–30. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.1226390>
- López, C. L., Garruña Hernández, R., Castillo Aguilar, C. D., Martínez-Hernández, A., Ortiz García, M. M., & Andueza-Noh, R. H., 2019. Structure and genetic diversity of nine important landraces of *Capsicum* species cultivated in the Yucatan Peninsula, México. *Agronomy*, 9(7), p. 376. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070376>
- Maboko, M. M., Du Plooy, C. P., 2015. Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of sweet pepper plants grown hydroponically. *HortScience*, 50(3), pp. 383–386. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.3.383>
- Naga, B. L., Deepanshu, Singh, D., Bahadur, V., 2022. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(10), pp. 227–233.
- Ngoroyemoto, N., Gupta, S., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., Van Staden, J., 2019. Effect of organic biostimulants on the growth and biochemical composition of *Amaranthus hybridus* L. South African. *Journal of Botany*, 124, pp. 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.03.040>
- Noxolo, P. M., Fotouo-M, H., Maboko, M. M., Sivakumar, D., 2020. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators. *International Journal of Vegetable Science*, 26 (2), pp. 116–126. <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1610925>
- Peng, X., Zhao, W., Wang, Y., Dai, K., Cen, Y., Liu, Z., Zheng, Y., 2020. Enhancement of gibberellic acid production from *Fusarium fujikuroi* by mutation breeding and glycerol addition. *Biotechnology*, 10(312), pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02303-4>
- Peñuela, M., Arias, L.L., Viáfara-Vega, R., Rivera Franco, N. and Cárdenas, H., 2021. Morphological and molecular description of three commercial *Capsicum* varieties: a look at the correlation of traits and genetic distancing. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(1), pp. 261–277. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00983-8>
- Pichardo-González, J. M., Guevara-Olvera, L., Couoh-Uicab, Y. L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Medina, H. R., González-Chavira, M. M., Acosta-García G., 2018. Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), pp. 925–934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1502>
- Renaut, S., Masse, J. P. N., Blal, B. and Hijri, M., 2019. A commercial seaweed extracts structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. *Microbial Biotechnology*, 12, pp. 1346–1358. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13473>
- Ruiz-Sánchez, E., Chan-Escalante, Z. F., Ballina-Gómez, H. S., Fernández-Herrera, M. A., Góngora-Gamboa, C. de J., 2022. Efecto de bioestimulantes en el crecimiento, características foliares y densidad poblacional de *Bemisia tabaci* en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, pp.1–6. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3757>
- Serna, A., Hurtado-Salazar, A., Ceballos-Aguirre, N., 2017. Efecto del ácido giberélico en el crecimiento, rendimiento y calidad del tomate bajo condiciones controladas. *Temas Agrarios*, 22(2), pp. 70–79.
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., Petropoulos, S. A., 2021. Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants. *Biomolecules*, 11, p. 819. <https://doi.org/10.3390/biom110608>

- Silvana, L.C., Maria, F.S., Andrea, Y.M., Maria, J.I., 2019. Chitosan microparticles improve tomato seedling biomass and modulate hormonal, redox and defense pathways. *Journal Plant Physiology*, 143, pp. 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.002>
- Tian, H., Xu, Y., Liu, S., Jin, D., Zhang, J., Duan, L., Tan, W., 2017. Synthesis of gibberellic acid derivatives and their effects on plant growth. *Molecules*, 22(5), pp. 2–11. <https://doi.org/10.3390/molecules22050694>
- Zulfiqar, F., Casadesús, A., Brockman, H., Munné-Bosch, S., 2019. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science*, 295, p. 110194. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>