

Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* en invernadero

Biostimulants in the plant growth and yield of *Capsicum chinense* in greenhouse

Wilberth Chan-Cupul^{1*} , Brandon Yair Novoa-Lizaola¹ , Juan Carlos Sánchez-Rangel¹ ,
Carlos Enrique Ail-Catzim² , Esaú Ruiz-Sánchez³ 

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. Autopista Colima-Manzanillo km. 40, Col. La Estación, CP. 28934, Tecomán, Colima, México.

²Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León CP. 21705, Mexicali, Baja California, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Av. Tecnológico s/n, CP. 97345, Conkal, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: wchan@uocol.mx

Artículo científico

Recibido: 13 de julio 2024

Aceptado: 11 de septiembre 2025

RESUMEN. La producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) se ha incrementado en los estados de la Región Pacífico Centro de México, incluyendo a Colima. El objetivo fue evaluar el desarrollo y rendimiento de chile habanero con aplicaciones foliares de bioestimulantes en invernadero. Los bioestimulantes evaluados fueron: Kelpak® (extracto de *Ecklonia maxima*), Bitlefree® (extracto de *Streptomyces* spp. + aminoácidos), Castell® (extracto de *Streptomyces* spp.) y testigo (sin bioestimulante). Las aplicaciones se realizaron a los 7, 14, 21 y 35 días después del trasplante (ddt) a dosis de 2.5 (7 y 14 ddt) y 2.0 mL L⁻¹ (21 y 35 ddt). Se empleó un diseño experimental al azar, las variables de respuesta fueron altura, diámetro de tallo, índice de clorofila, área foliar, tamaño de fruto (peso, largo y ancho) y rendimiento. Los datos fueron analizados por análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($p = 0.05$). Castell® incrementó la altura y diámetro de las plantas de *C. chinense*. El índice de clorofila en hojas de *C. chinense* se incrementó al aplicar Castell® y Kelpak®. Los tres bioestimulantes incrementaron el índice de área foliar, tamaño de fruto y rendimiento. Los incrementos promedios en el rendimiento respecto al testigo, en las ocho cosechas realizadas, fueron de 7.80, 8.02 y 10.36 t ha⁻¹ para Kelpak®, BliteFree® y Castell®, respectivamente. El uso de bioestimulantes para la producción de chile habanero es una opción amigable con el ambiente para mejorar los rendimientos bajo las condiciones de invernadero en la Región Pacífico Centro de México.

Palabras clave: Aminoácidos, Chile habanero, *Ecklonia maxima*, extractos, *Streptomyces*.

ABSTRACT. The production of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) has increased in the Region of Central Pacific of Mexico, including Colima. The objective was to evaluate the development and yield of habanero chili with foliar applications of biostimulants under greenhouse conditions. The biostimulants evaluated were: Kelpak® (*Ecklonia maxima* extract), Bitlefree® (*Streptomyces* spp. extract + amino acids), Castell® (*Streptomyces* spp. extract) and the control (without biostimulant). Applications were made at 7, 14, 21 and 35 days after transplantation (dat) at doses of 2.5 (7 and 14 dat) and 2.0 mL L⁻¹ (21 and 35 dat). A randomized experimental design was used, the response variables were height, stem diameter, chlorophyll and leaf area index, fruit size (weight, length and width) and yield. The data were analyzed by analysis of variance and "Tukey" test mean comparison ($p = 0.05$). Castell® increased the height and diameter of *C. chinense* plants. The chlorophyll index in *C. chinense* leaves increased when was applied Castell® and Kelpak®. The three biostimulants increased the leaf area index, fruit size and yield. The averages increase in yield compared to the control, in the eight harvests carried out, were 7.80, 8.02 and 10.36 t ha⁻¹ for Kelpak®, BliteFree® and Castell®, respectively. The use of biostimulants to produce habanero chili is an environmentally safe option to improve yields under greenhouse conditions in the Region of Central Pacific of Mexico.

Keywords: Amino acids, Habanero chili, *Ecklonia maxima*, extracts, *Streptomyces*.

Como citar: Chan-Cupul W, Novoa-Lizaola BY, Sánchez-Rangel JC, Ail-Catzim CE, Ruiz-Sánchez JC (2025) Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* en invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(3): e4252. DOI: 10.19136/era.a12n3.4252.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ha tomado relevancia en los últimos ocho años en el Pacífico Centro de México, en los estados de Michoacán (Tapia-Vargas *et al.* 2016), Colima (Chan-Cupul *et al.* 2024; Llamas-Rodríguez *et al.* 2024), Jalisco y Nayarit (Luna-Fletes *et al.* 2023). En estos estados, la producción de *C. chinense* se realiza tanto en campo abierto como en agricultura protegida, sin embargo, en su mayoría se cultiva en agricultura protegida (casa malla, malla sombra e invernadero) (Valdovinos-Nava *et al.* 2020). La producción se lleva a cabo mayormente en suelo (Chan-Cupul *et al.* 2024, Llamas-Rodríguez *et al.* 2024), aunque existen estudios realizados en sustratos como fibra y polvillo de coco (Llamas-Rodríguez *et al.* 2024), pumita (Luna-Fletes *et al.* 2023) y mezclas de tezontle con fibra de coco y composta (Moreno-Salazar *et al.* 2020). Las variedades e híbridos cultivados mayormente son los de maduración naranja, aunque se tienen registrados frutos con maduración rojo (Toscano-Verduzco *et al.* 2019) y chocolate (Tapia-Vargas *et al.* 2016). Los rendimientos varían de 34.3 a 65.8 t ha⁻¹ de acuerdo con el tipo de tecnología y fertilización empleada (Moreno-Salazar *et al.* 2020; Llamas-Rodríguez *et al.* 2024).

El fruto de *C. chinense* posee una rica composición nutraceútica, ya que contiene más de cincuenta compuestos y metabolitos, entre los que se incluyen azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos de cadena corta, nucleósidos, colorantes, resinas, pentosanos, elementos minerales y muy poco aceite volátil (Ramírez-Meraz *et al.* 2024). También son una excelente fuente de compuestos nutricionales, como ácido ascórbico (vitamina C), carotenoides (provitamina A), capsaicinoides y polifenoles (Datt-Joshi *et al.* 2017), lo que hacen de este cultivo uno de los más importantes para la industria farmacéutica y nutrimental (Satish-Chhapekar *et al.* 2020). Sin embargo, el cultivo de hortalizas, incluyendo el cultivo de *C. chinense*, presenta uno de los retos más grandes, el cambio climático, el cual ocasiona el aumento de la temperatura ambiental y con ello sequías que resultan en un estrés hídrico en la planta (Goto *et al.* 2021). Asimismo, estos factores abióticos favorecen el incremento de las poblaciones de insectos fitófagos (plagas) y algunos patógenos (enfermedades) (Subedi *et al.* 2023).

Una estrategia de bajo impacto ambiental para incrementar los rendimientos del cultivo de *C. chinense* y que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático (estrés hídrico) es el uso de bioestimulantes, los cuales se definen como “sustancias, microorganismos y materiales, con excepción de nutrientes y plaguicidas, que cuando se aplican a plantas, semillas o sustratos de cultivo en formulaciones específicas, tienen la capacidad de modificar los procesos fisiológicos de las plantas de una manera que proporcionan beneficios potenciales para el crecimiento, desarrollo y/o respuesta al estrés” (Ertani *et al.* 2014, du Jardi 2015). Los bioestimulantes pueden clasificarse de acuerdo con su origen como sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas), proteínas hidrolizadas (de origen vegetal y animal) y extractos de vegetales, algas marinas y microorganismos (micorrizas, microalgas, bacterias, actinobacterias y hongos filamentosos (Sible *et al.* 2021, Kumari *et al.* 2022).

Tomando la presente definición y clasificación de los bioestimulantes, son escasos los estudios desarrollados con fines de mejorar el desarrollo, rendimiento y tamaño de fruto de *C. chinense*, puesto que, mayormente los estudios realizados han sido sobre *Capsicum annuum* (chile verde, jalapeño y pimiento). Al respecto, Robles-Hernández *et al.* (2015) evaluaron caldos de *Streptomyces*

spp. (PRIO41) como promotor de crecimiento vegetal y agente de control biológico contra *Fusarium* sp. en *C. annuum*, resultando que la inoculación del extracto de la actinobacteria redujo la marchitez causada por el fitopatógeno hasta un 40% y mejoró la altura de planta, área foliar, longitud de raíz, biomasa seca foliar y radical, demostrando que el extracto de *Streptomyces* spp. PRIO41 es un bioestimulante microbiano en *C. annuum*.

Recientemente, Ruiz-Sánchez *et al.* (2022) evaluaron el efecto de tres bioestimulantes foliares: extracto de algas (Nutri Alga®), ácidos húmicos derivados de Leonardita (Humitron 12L®) y L-aminoácidos, péptidos y polipéptidos de origen natural (Amikrone®) en el crecimiento y características foliares de *C. chinense* en etapa de almácigo y maceta. Los autores reportaron que la aplicación de ácidos húmicos incrementó el número de hojas y diámetro de tallo de *C. chinense* en almácigo; mientras que, en las macetas los ácidos húmicos incrementaron el grosor y dureza de hoja. Estos antecedentes confirman el interés de evaluar el efecto de diferentes bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *C. chinense*. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el crecimiento y rendimiento de chile habanero con aplicaciones foliares de bioestimulantes bajo condiciones de invernadero en Tecomán, Colima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se llevó a cabo de octubre 2023 a mayo 2024 en un invernadero tipo capilla cenital en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima, ubicada en el km 40 de la autopista Colima- Manzanillo, Col. La Estación, Tecomán, Colima, México (18° 57' 10" LN 103° 53' 44" LE, Google Earth 2023). El lugar cuenta con un clima cálido subhúmedo A(w0) con temperatura promedio anual de 26.3 °C (Mín 18.0 °C y Max 38.5 °C) y precipitación anual de 750 mm y 33 msnm. Las características del suelo fueron las siguientes: pH (6.88), textura [arena (77.0%), limo (6.0%) y arcilla (17.0%)], conductividad eléctrica (8.56 mS cm⁻¹) y contenido de materia orgánica (0.6%).

Producción de planta en almácigo

En charolas de polietileno de 200 cavidades se germinaron semillas de *C. chinense* híbrido 'Megalodon' (LarkSeed®, CA, EE. UU.) en invernadero. Se colocó una semilla por cada cavidad. Cada charola se llenó con 3 kg de BM2® (Berger, Canadá) a 60% de su capacidad de retención de humedad. Las charolas fueron cubiertas con bolsas negras por un lapso de cinco días para inducir la germinación y emergencia de plántulas. Una vez emergida las plántulas, las charolas fueron retiradas de la bolsa y se colocaron sobre mesas para su cuidado, riego y fertilización por 60 días. La fertilización inició a los 15 días después de la siembra (dds), cuando aparecieron las primeras hojas verdaderas. Se aplicaron dos veces por semana: 1.5 g L⁻¹ de Poly-Feed 12-43-12 (Haifa®), 1.5 g L⁻¹ de Triple 17 (Haifa®), 1.0 mL L⁻¹ de Root-Factor (AgroScience®). Una vez por semana se aplicó 1.0 g L⁻¹ de Micro A-Z (Tradecorp®). A los 30 dds se aplicó 0.75 mL L⁻¹ de Uniform (metalaxil + azoxystrobin, Syngenta®). Para el experimento se emplearon plantas de 60 días de edad con una altura promedio de 24 cm.

Trasplante y arreglo topológico

Los surcos de 0.4×0.8×40 m con acolchado plástico negro-plata (cal. 90, 915×1.2 m) se humedecieron un día antes hasta su capacidad de campo. Justo antes del trasplante, el cepellón de las plantas se sumergió en una solución de Uniform 1.0 mL L⁻¹, Poly-Feed 12-43-12 1 g L⁻¹, Confidor (Imidacloprid, Bayer®) 1 mL L⁻¹ y Root-Factor 1.0 mL L⁻¹. El marco de plantación fue a una distancia de 1.8 m entre surco y 0.3 m entre plantas, con una densidad de plantación de 18 315 plantas ha⁻¹.

Sistema de riego y fertilización

Se utilizó un sistema de riego por cintilla calibre ocho mil con goteros a 30 cm. Se empleó agua de pozo profundo el cual se almacenó en una membrana de 60, 000 L y se rebombó con motor eléctrico de 2 Hp. Se empleó la fertilización (Tabla 1) de acuerdo con la etapa fenológica de *C. chinense*, se aplicó una fertilización por 205-170-250 kg ha⁻¹, las fuentes fueron: nitrato de potasio (12-0-45, NKS®), fosfato monoamónico (12-61-00, MAP®) y nitrato de amonio (32-0-2, Nitam KS®). Como fuente de calcio y micronutrientes se empleó Turgen Ca (AgroScience®) y Full-Mix (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, GrenHow®).

Tabla 1. Fertilización del cultivo de chile habanero (*C. chinense*) en suelo.

Etapa	Fenología	Relación			Fertirriegos por etapa	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)
		N	P	K				
I	Adaptación (+) 21 días	2	1	1	6	51.3	28.3	27.8
II	Desarrollo 21 (+) 30 días (51)	3	1	2	12	76.9	28.3	55.6
III	Fructificación 51 (+) 30 días (81)	2	3	2	10	51.3	85.0	55.6
IV	Producción 81 (+) 65 días (146)	1	1	4	28	25.6	28.3	111.1
Total		8	6	9	56	205.0	170.0	250.0

Manejo fitosanitario

Se revisaron directamente las plantas dos veces por semana para el muestreo de plagas y enfermedades. Como métodos preventivos se aplicaron extractos de canela (CinnAcar®, 2.5 mL L⁻¹), ajo y chile (Gamma® 2.5 mL L⁻¹), y entomopatógenos (*Cordyceps fumosorosea*, Corsea, PlantBio®, 2.5 g L⁻¹). Cuando el número de plantas con signos de presencia *Tetranychus urticae* Koch y *Polyphagotarsonemus latus* Banks llegó al 1% (20 plantas) se aplicó Tetrasan (etoxazole, Valent®), Avolant (fenpyroximate, UPL®) y Acramite (bifenazate, Arysta®) a razón de 1 g o mL L⁻¹. Para *Bemisia tabaci* Genn. se aplicó Confidor (imidacloprid, Bayer®), Centurion Ultra (acefate, Versa®) y Toretto (sulfoxaflor, Corteva®) cuando se encontró un umbral económico de 1 adulto planta⁻¹.

Tratamientos

Se evaluaron tres bioestimulantes y un testigo: T1) Kelpak® (extracto de *Ecklonia maxima*), T2) Bitlefree® (Extracto de *Streptomyces* spp. + aminoácidos), T3) Castell® (extracto de *Streptomyces* spp.) y T4) testigo (sin bioestimulante). Se realizaron cuatro aplicaciones foliares de los tratamientos

durante todo el ciclo. Las aplicaciones a los 7 y 14 días después del trasplante (ddt) fueron a una dosis de 2.5 mL L⁻¹, mientras que las aplicaciones a los 21 y 35 ddt fueron a una dosis de 2.0 mL L⁻¹.

VARIABLES AGRONÓMICAS

La altura de planta (cm) se midió de la base del tallo al ápice con un flexómetro. El diámetro de tallo (mm) se midió a los 10 cm de la base del tallo con un vernier digital. El índice de área foliar se calculó multiplicando el largo por el ancho de tres hojas por planta. El índice de clorofila (índice) se midió con un medidor de clorofila FieldScout® CM1000 (EE. UU.), los valores del índice van de 0 a 999, las mediciones de clorofila se realizaron en un horario de 11:00 am a 12:00 pm con cielo despejado (Moreno-Salazar *et al.* 2020).

VARIABLES DE TAMAÑO DE FRUTO

Se tomaron 120 frutos por cada tratamiento incluyendo al testigo, se registró el peso de fruto (g) a través de una balanza digital, el largo (cm) y ancho (cm) de fruto a través de un Vernier digital (Chan-Cupul *et al.* 2024).

VARIABLES DE RENDIMIENTO

En cada tratamiento y testigo se cosecharon los frutos a partir de los días 65 ddt. Durante dos meses, se contabilizó el número de frutos por planta en cada corte (número de frutos planta⁻¹), se pesó el total de frutos obtenidos por planta en cada corte (g planta⁻¹), el rendimiento por planta se obtuvo de la suma de los pesos obtenidos en las cosechas (kg planta⁻¹). Para el rendimiento por ha (t ha⁻¹) se multiplicó el rendimiento por planta (kg planta⁻¹) en cada repetición por la densidad de siembra (18 315 plantas ha⁻¹) y se dividió entre mil (Valdovinos-Nava *et al.* 2020). Los datos reportados en rendimiento son el resultado de ocho cosechas realizadas, una por semana durante dos meses.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

El experimento se estableció bajo un diseño completo al azar con tres tratamientos y un control, en cada grupo se establecieron 20 repeticiones, una planta se consideró una repetición. Los datos de las variables agronómicas, tamaño de fruto y rendimiento se analizaron con una prueba de homogeneidad de varianzas (Levene test, $p \leq 0.05$), análisis de varianza ($p \leq 0.05$) y comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis se realizaron con Statgraphics® VIII para Windows® 2020.

RESULTADOS

A los siete días después del trasplante (ddt) se encontraron diferencias significativas ($p = 0.0281$) en la altura de planta; sin embargo, ninguno de los tratamientos superó al testigo (Tabla 2). A medida que avanzó el experimento, se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, a los 49, 56 y 63 ddt. El tratamiento Castell® mejoró la altura de planta de *C. chinense*, respecto al testigo. Los incrementos fueron de 8.8, 8.5 y 7.1%, a los 49, 56 y 63 ddt, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Altura (cm) de *Capsicum chinense* var. 'Megalodon' con aplicaciones de bioestimulantes foliares.

Tratamiento	Días después del trasplante				
	7	14	21	28	35
Kelpak®	22.70 ± 0.37 ^a	25.65 ± 0.53	34.60 ± 0.77	46.85 ± 1.06 ^a	55.55 ± 1.19
BliteFree®	21.05 ± 0.65 ^b	25.10 ± 0.72	32.40 ± 0.76	47.00 ± 1.23 ^a	53.60 ± 1.31
Castell®	22.70 ± 0.37 ^a	26.80 ± 0.56	32.75 ± 0.65	47.65 ± 1.05 ^a	55.00 ± 0.95
Testigo	22.70 ± 0.37 ^a	25.70 ± 0.47	32.35 ± 1.07	36.35 ± 2.01 ^b	55.25 ± 1.82
F	3.20	1.50	1.64	15.00	0.40
P-valor	0.0281	0.2211	0.1867	0.00001	0.7524
CV %	9.6	10.16	11.39	11.72	10.98
Tratamiento	42	49	56	63	70
Kelpak®	76.35 ± 1.59	94.55 ± 1.51 ^b	107.85 ± 1.51 ^b	116.40 ± 1.94 ^b	136.85 ± 2.09 ^{ab}
BliteFree®	75.65 ± 1.59	93.70 ± 1.50 ^b	93.70 ± 1.50 ^c	117.45 ± 1.68 ^b	132.70 ± 1.64 ^b
Castell®	77.40 ± 1.50	103.8 ± 1.04 ^a	117.15 ± 1.22 ^a	127.45 ± 1.46 ^a	141.05 ± 1.30 ^a
Testigo	75.80 ± 2.11	95.35 ± 2.08 ^b	107.95 ± 1.98 ^b	118.95 ± 2.01 ^b	137.55 ± 1.15 ^{ab}
F	0.21	8.79	37.51	7.88	4.62
P-valor	0.8875	0.00001	0.00001	0.0001	0.0050
CV %	9.92	8.30	10.23	7.50	5.54

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

La aplicación de los bioestimulantes incrementó el grosor del tallo, Kelpak® incrementó significativamente ($p < 0.05$) el diámetro de tallo con respecto al testigo a partir del 21 hasta los 70 ddt, los incrementos oscilaron entre el rango de 8.0 al 24.8% (Tabla 3). Asimismo, Castell® mejoró el diámetro de tallo de *C. chinense* a partir del 28 a los 56 ddt, el porcentaje de incremento fue en un rango de 8.22 a 24% (Tabla 3).

Kelpak® incrementó, respecto al testigo, el IC de *C. chinense* en los 21, 28, 35, 56 y 63 ddt, los incrementos oscilaron entre 4.5% (35 ddt) y 26% (28 ddt, Tabla 4). Mientras que el Castell® solo mejoró el IC en tres muestreos, a los 28 (27.4%), 35 (4.6%) y 63 ddt (8.4%). El tratamiento BliteFree® solo a los 28 ddt permitió mayor IC (27.4%) en plantas de *C. chinense* (Tabla 4).

Tabla 3. Diámetro de tallo (mm) de *Capsicum chinense* híbrido ‘Megalodon’ con aplicaciones de bioestimulantes foliares.

Tratamiento	Días después del trasplante				
	7	14	21	28	35
Kelpak®	3.31 ± 0.10	4.70 ± 0.12	6.75 ± 0.16 ^a	8.05 ± 0.21 ^a	9.35 ± 0.23 ^a
BliteFree®	3.34 ± 0.10	4.95 ± 0.18	6.15 ± 0.13 ^b	7.81 ± 0.27 ^a	9.15 ± 0.24 ^a
Castell®	3.31 ± 0.10	4.90 ± 0.20	6.45 ± 0.15 ^{ab}	8.0 ± 0.36 ^a	9.31 ± 0.29 ^a
Testigo	3.37 ± 0.10	4.80 ± 0.15	6.15 ± 0.16 ^b	6.45 ± 0.22 ^b	8.30 ± 0.38 ^b
F	0.00	0.42	3.50	7.45	2.78
P-valor	1.0000	0.7369	0.0194	0.0002	0.0465
CV %	13.97	15.58	11.26	17.16	15.06
Tratamiento	42	49	56	63	70
Kelpak®	10.75 ± 0.19 ^a	11.60 ± 0.19 ^a	12.55 ± 0.22 ^a	13.45 ± 0.22 ^a	14.85 ± 0.19 ^a
BliteFree®	10.45 ± 0.18 ^a	11.20 ± 0.17 ^{ab}	12.00 ± 0.16 ^{ab}	13.00 ± 0.24 ^{ab}	14.25 ± 0.23 ^{ab}
Castell®	11.20 ± 0.22 ^a	11.71 ± 0.21 ^a	12.50 ± 0.19 ^a	13.15 ± 0.30 ^{ab}	14.15 ± 0.26 ^{ab}
Testigo	9.60 ± 0.26 ^b	10.60 ± 0.26 ^b	11.55 ± 0.21 ^b	12.45 ± 0.18 ^b	13.55 ± 0.15 ^b
F	9.51	5.33	5.53	3.02	6.00
P-valor	0.00001	0.0022	0.0017	0.0350	0.0010
CV%	10.71	9.25	7.97	8.60	7.46

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

Durante un periodo consecutivo de 21 días (21 al 42 ddt) en la etapa de desarrollo de la planta, los tres bioestimulantes permitieron un mayor IAF ($p < 0.05$) en *C. chinense* comparado con el testigo (Tabla 5). Los incrementos oscilaron en un rango de 25.6 a 108.0%, siendo Kelpak® el producto que permitió un mayor incremento en el IAF (Tabla 5).

La aplicación foliar de los bioestimulantes incrementó significativamente la calidad de fruto de *C. chinense* con respecto al testigo. Kelpak®, BliteFree® y Castell® aumentaron en 2.86, 3.56 y 3.27 g el peso de fruto, respectivamente (Tabla 6); el largo en 4.08 (Kelpak®), 4.2 (BliteFree®) y 3.18 mm (Castell®), y el ancho en 3.06 (Kelpak®), 3.2 (BliteFree®) y 3.37 mm (Castell®), respectivamente (Tabla 6).

Tabla 4. Índice de clorofila de *Capsicum chinense* híbrido 'Megalodon' con aplicaciones de bioestimulantes foliares.

Tratamiento	Días después del trasplante				
	7	14	21	28	35
Kelpak®	183.25 ± 1.33	221.90 ± 6.85	299.35 ± 7.71 ^a	357.80 ± 4.75 ^{ab}	398.75 ± 5.81 ^a
BliteFree®	183.25 ± 1.33	230.90 ± 5.43	278.70 ± 5.54 ^{ab}	337.85 ± 5.27 ^b	362.30 ± 472 ^c
Castell®	183.25 ± 1.33	219.65 ± 6.39	280.25 ± 7.48 ^{ab}	361.00 ± 2.50 ^a	399.10 ± 2.48 ^a
Testigo	183.25 ± 1.33	219.85 ± 8.30	267.8 ± 7.93 ^b	283.15 ± 9.82 ^c	381.30 ± 433 ^b
F	0.00	0.61	3.29	33.84	15.05
P-valor	1.0000	0.6129	0.0252	0.00001	0.00001
CV %	3.20	13.57	11.97	6.25	6.47
Tratamiento	42	49	56	63	70
Kelpak®	413.75 ± 4.68 ^{bc}	466.25 ± 4.19 ^a	586.15 ± 8.96 ^a	637.60 ± 14.76 ^a	544.0 ± 5.86 ^c
BliteFree®	400.50 ± 3.44 ^c	450.00 ± 3.97 ^b	505.95 ± 7.23 ^b	562.05 ± 12.88 ^b	617.15 ± 5.57 ^b
Castell®	422.55 ± 4.44 ^{ab}	465.90 ± 3.31 ^a	512.55 ± 6.14 ^b	621.70 ± 13.821 ^a	659.45 ± 13.92 ^a
Testigo	436.85 ± 4.78 ^a	472.85 ± 5.06 ^a	512.55 ± 6.14 ^b	568.00 ± 14.5 ^b	659.45 ± 13.92 ^a
F	12.19	5.39	27.78	7.33	26.18
P-valor	0.00001	0.0020	0.00001	0.0002	0.00001
CV %	5.58	4.35	8.65	11.69	10.7

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

La aplicación de los bioestimulantes mejoró las variables de rendimiento, los tres productos evaluados mejoraron el número de frutos planta⁻¹, kg planta⁻¹ y t ha⁻¹ (Tabla 6). En promedio los bioestimulantes evaluados incrementaron 32.58, 35.35 y 39.60% los frutos planta⁻¹, kg planta⁻¹ y t ha⁻¹ de *C. chinense*. Los valores más altos de rendimiento se obtuvieron al aplicar Castell® con 96.55 frutos planta⁻¹, 1.45 k planta⁻¹ y 32.36 t ha⁻¹, comparado con los valores del control con 66.90 frutos planta⁻¹, 0.99 kg planta⁻¹ y 22.00 t ha⁻¹.

Tabla 5. Índice de área foliar de *Capsicum chinense* híbrido 'Megalodon' con aplicaciones de bioestimulantes foliares.

Tratamiento	Días después del trasplante				
	7	14	21	28	35
Kelpak®	22.99 ± 0.70	44.95 ± 2.25	104.86 ± 4.14 ^b	161.48 ± 5.35 ^a	200.03 ± 6.88 ^a
BliteFree®	22.14 ± 0.66	50.87 ± 2.14	124.32 ± 5.24 ^a	154.68 ± 5.26 ^a	199.83 ± 7.77 ^a
Castell®	21.67 ± 0.63	42.93 ± 2.64	102.00 ± 6.06 ^b	153.185 ± 6.66 ^a	205.11 ± 845 ^a
Testigo	21.62 ± 0.69	44.16 ± 3.09	65.86 ± 4.43 ^c	77.66 ± 0.05 ^b	159.18 ± 9.99 ^b
F	0.88	1.90	23.49	37.77	6.54
P-valor	0.4553	0.1371	0.00001	0.00001	0.0005
CV %	13.63	25.45	30.85	20.33	21.52
Tratamiento	42	49	56	63	70
Kelpak®	143.58 ± 6.68 ^a	156.84 ± 4.38	179.08 ± 5.54 ^a	90.75 ± 3.75	109.21 ± 3.45 ^{ab}
BliteFree®	143.54 ± 4.86 ^a	163.44 ± 5.67	163.44 ± 5.67 ^{ab}	94.17 ± 4.98	109.21 ± 3.45 ^{ab}
Castell®	140.67 ± 6.86 ^a	175.91 ± 5.55	175.91 ± 5.55 ^{ab}	101.41 ± 5.08	124.63 ± 4.68 ^a
Testigo	102.6 ± 4.95 ^b	167.07 ± 5.73	156.91 ± 6.44 ^b	93.75 ± 2.51	101.50 ± 4.99 ^b
F	11.46	2.19	3.21	1.12	4.20
P-valor	0.00001	0.0955	0.0276	0.3449	0.0084
CV %	23.59	14.79	16.04	19.88	20.2

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

Tabla 6. Tamaño de fruto de *Capsicum chinense* híbrido 'Megalodon' con aplicaciones de bioestimulantes foliares.

Tratamiento	Tamaño de fruto			Rendimiento*		
	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Frutos planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	t ha ⁻¹
Kelpak®	19.10 ± 0.23 ^a	61.10 ± 0.60 ^a	40.04 ± 0.44 ^a	83.70 ± 4.48 ^a	1.34 ± 0.06 ^a	29.80 ± 1.54 ^a
BliteFree®	19.80 ± 0.33 ^a	61.22 ± 0.50 ^a	40.18 ± 0.44 ^a	84.95 ± 5.37 ^a	1.35 ± 0.08 ^a	30.02 ± 1.79 ^a
Castell®	19.51 ± 0.25 ^a	60.20 ± 0.55 ^a	40.35 ± 0.40 ^a	96.55 ± 3.17 ^a	1.45 ± 0.04 ^a	32.36 ± 0.96 ^a
Testigo	16.24 ± 0.26 ^b	57.02 ± 0.66 ^b	36.98 ± 0.37 ^b	66.90 ± 4.35 ^b	0.99 ± 0.05 ^b	22.00 ± 1.25 ^b
F	36.64	11.21	14.71	7.64	10.03	10.05
P-valor	0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.00001	0.00001
CV %	17.59	11.05	12.16	26.61	25.85	25.85

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$. *Los valores de rendimiento fueron de ocho cosechas, uno por semana en un periodo de dos meses.

DISCUSIÓN

Los bioestimulantes mejoraron las variables de crecimiento y rendimiento de *C. chinense* bajo condiciones de invernadero. El extracto de *Streptomyces* spp. (Castell®) destacó ligeramente sobre el extracto de *E. máxima* (Kelpak®) y *Streptomyces* spp. (BliteFree®). En estudios previos, bajo condiciones *in vivo* (macetas), Ertani *et al.* (2014) diseñaron y evaluaron dos bioestimulantes derivados de plantas de alfalfa (AH) y uva tinta (RG) en el desarrollo y rendimiento de *C. chinense*, la aplicación de 50 mL L⁻¹ incrementó el número de hojas y frutos totales, los incrementos en número de hojas fueron de 66.3 y 164.0%, para RG y AH; mientras que, los incrementos en el número de frutos fueron de 57.4 y 116.3%, respectivamente. El incremento en número de frutos fue mayor a los del presente estudio (32.58%), posiblemente este resultado se deba a la composición de los compuestos naturales de las plantas comparado con los compuestos de macroalgas marinas (*E. maxima* = Kelpak®) y actinobacterias (*Streptomyces* spp.= Castell® y BliteFree®). Los principales compuestos en AH y RG reportado por Ertani *et al.* (2014) fueron ácido indolacético e isopenteniladenosina; asimismo, los espectros de resonancia magnética nuclear mostraron grupos funcionales de aminoácidos en AH y polifenoles como el resveratrol en RG.

En otro estudio Ertani *et al.* (2015) reportaron que la aplicación de los extractos AH y RG en *C. chinense* incrementaron el peso de los frutos al aplicar una concentración de 50 mL L⁻¹, los frutos verdes y rojos pesaron hasta 40 y 30 g, respectivamente, mientras que los frutos en el control pesaron menos de 15 g. Los bioestimulantes evaluados en el presente estudio mejoraron el peso de fruto de *C. chinense*, aumentándolo un 19.8% en promedio (Bioestimulantes = 19.46 g, control = 16.24 g). La variación en el peso de los frutos es amplia, si comparamos los pesos de fruto del presente trabajo con los de Ertani *et al.* (2015); sin embargo, esto se puede deber a la variedad empleada o a la especie, puesto que en los estudios de Ertani *et al.* (2014) y Ertani *et al.* (2015) mencionan que se trabajó con la especie *Capsicum chinensis* L. cv. Fuoco della Prateira, un germoplasma de maduración amarillo a rojo con forma alargada, muy diferente a *C. chinense* Jacq. híbrido Megalodon de maduración verde a naranja.

Recientemente, Ruiz-Sánchez *et al.* (2022) reportaron que la aplicación de un extracto algáceo (sin especie, NutriAlga®), ácidos húmicos (Humitron®) y aminoácidos (Amikrone®) en plantas de *C. chinense* en macetas incrementaron en 1.5, 2.7 y 1.8 el número de hojas respecto al control. Mientras que, únicamente los ácidos húmicos incrementaron el diámetro de tallo en 0.4 mm, respecto al control. En el presente trabajo, aunque no se midió el número de hojas, se cuantificó el índice de área foliar, el cual incrementó por efecto de la aplicación foliar de los bioestimulantes evaluados. El incremento estuvo bien marcado en el periodo de 21 a 42 ddt, justo cuando se realizó la tercera aplicación de los bioestimulantes (21 ddt), donde el incremento fue mayor si los comparamos con los reportados por Ruiz-Sánchez *et al.* (2022).

El extracto de *E. máxima* (Kelpak®), posee diversos compuestos que promueven el crecimiento vegetal como el eckol (flototanino) (Kulkarni *et al.* 2019), citoquinas, auxinas (ácido indol-3-acético), poliaminas (putrescina y espermidina) (Papenfus *et al.* 2012) y floriglucinol (Aremu *et al.* 2015). El extracto de *E. máxima* o sus compuestos aislados se han estudiado ampliamente con resultados positivos en el desarrollo y crecimiento vegetal de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) (La-Bella *et al.* 2021), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Righini *et al.* 2023), pimiento (*C. annuum*) (Rekanović *et al.*

2010) y arúgula (*Eruca vesicaria* L. Cav.) (Hassan *et al.* 2021). Sin embargo, el presente trabajo representa el primer reporte para *C. chinense*.

Por otra parte, *Streptomyces* un género de actinobacterias grampositivas, ha sido ampliamente estudiado por su papel en la promoción del crecimiento de las plantas. Amaresan (2018) y Al-Tammar y Khalifa (2023) destacan los diversos mecanismos a través de los cuales las especies de *Streptomyces* mejoran el crecimiento de las plantas, incluida una mejor adquisición de nutrientes, la producción de fitohormonas (ácido indo-3-acético, butirolactona IM2 y VB, butenolida y cinetina) y la supresión de enfermedades (antibiosis). También se ha descubierto que estas actinobacterias producen compuestos bioactivos que benefician a las plantas tales como antibióticos, compuestos orgánicos volátiles y enzimas (Sousa y Olivares 2016). Al respecto, Manullang y Chuang (2020) reportan que *Streptomyces* sp. puede mitigar las respuestas al estrés abiótico y promover el crecimiento de las plantas en *Arabidopsis thaliana* y *Brassica* sp. mediante la producción de ácido indolacético y la solubilización de fosfatos.

Sin embargo, los extractos naturales, incluyendo los de algas marinas (Kelpak®) y actinobacterias (Castell® y BliteFree®), se originan a partir del tratamiento de las materias primas (*Ecklonia máxima* y *Streptomyces*) a través de procesos químicos, físicos o enzimáticos, por lo que la composición del producto final a menudo abarca un amplio espectro de compuestos bioactivos que teóricamente pueden inducir múltiples efectos benéficos en las plantas. En consecuencia, desentrañar el posible mecanismo de acción es a menudo delicado e implica enfoques multidisciplinarios mediante técnicas bioquímicas y moleculares (Boukhari *et al.* 2020). Tanto los extractos de *E. máxima* y *Streptomyces* poseen auxinas (ácido indol-3-acético y ácido indol-3-carboxílico) los cuales promueven el crecimiento radicular y con ello el aumento en la absorción de nutrientes y agua, causando un incremento en el vigor y crecimiento vegetal. Asimismo, se ha demostrado que las citoquininas provenientes de los extractos de *E. máxima*, favorecen la movilidad de nutrientes en las plantas, inducen radicales libres (especies reactivas de oxígeno) e inhiben la oxidación de xantina combatiendo el estrés abiótico y a su vez promueven el crecimiento y rendimiento de las plantas (Panda *et al.* 2012).

El uso de bioestimulantes ha sido más estudiado en *C. annuum*, al respecto Cedeño-Guerra *et al.* (2020) reportaron que la aplicación de lixiviado de vermicompost bovina mejoró la longitud de fruta; sin embargo, no mejoró el rendimiento por planta (43.88 t ha⁻¹) respecto a la fertilización mineral (46.90 t ha⁻¹). Cobeña-Montes *et al.* (2022) reportaron que la aplicación de este mismo bioestimulante (lixiviado de vermicompost bovina) incrementa el contenido relativo de clorofila (CRC) dependiendo del híbrido de *C. annuum*, puesto que los híbridos Quetzal y Canario incrementaron su CRC en 23.6 y 18.8%, respectivamente; mientras que los híbridos Odin y Nathalie no presentaron incrementos significativos.

Nogueira de Moura-Guerra *et al.* (2023) evaluaron un bioestimulante (Stimulate®) a base de reguladores de crecimiento (ácido indolbutírico 0.005%, cinetina 0.009% y ácido giberélico 0.005%) en la germinación y crecimiento de plantas de *C. annuum*. A la dosis de 8 mL L⁻¹ del producto, se incrementó la germinación un 3%, pero no mejoró el crecimiento de la radícula e hipocótilo. Para el crecimiento se encontraron incrementos en la altura de planta y diámetro de tallo de 5.6 y 12.7%, respectivamente; mientras que el número de hojas no incrementó al aplicar la

misma dosis de 8 mL L⁻¹. Estos resultados coinciden con los del presente estudio en cuanto al aumento en la altura y diámetro de tallo de *C. chinense* por el extracto de *E. maxima*, el cual se caracteriza por su alto contenido de auxinas como regulador de crecimiento.

Recientemente, Adame-García *et al.* (2024) evaluaron bioestimulante microbianos Genifix® (*Bacillus* sp., *B. megaterium*), *Trichoderma harzianum* y Bio-Terra® (*Rhizobium* sp., *B. subtilis*, *B. thuriangiensis*, *Beauveria bassiana* y *T. harzianum*) en el crecimiento de plantas y frutos de *C. annuum*. El producto Genifix® originó plántulas con mayor peso seco, con un incremento promedio del 39.9 % en plántula y del 40.8% en raíz. Genifix® y *Trichoderma* tuvieron un efecto significativo en el peso y diámetro ecuatorial de los frutos, similar al presente estudio con los resultados de Castell® y BliteFree®. En producción, el Genifix® incrementó el rendimiento en 39% para *C. annuum*, este resultado es menor al incremento en el rendimiento obtenido en *C. chinense* por efecto del Castell® (47%).

CONCLUSIONES

El extracto de *Streptomyces* spp. (Castell®) incrementó la altura y diámetro de las plantas de *C. chinense*. El índice de clorofila en hojas de *C. chinense* se incrementó al aplicar los extractos de *Streptomyces* spp. (Castell®) y *E. maxima* (Kelpak®). Los tres bioestimulantes (BliteFree®, Castell® y Kelpak®) incrementaron el índice de área foliar, tamaño de fruta y rendimiento. Los incrementos promedios en el rendimiento en las ocho cosechas (2 meses de producción) realizadas fueron de 7.80, 8.02 y 10.36 t ha⁻¹ para Kelpak®, BliteFree® y Castell®, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los estudiantes de Ingeniero Agrónomo José Armando Bautista Contreras y Jonathan Jesús Hernández Góngora.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

No se presenta información complementaria, los datos experimentales están disponibles a petición al autor de correspondencia.

LITERATURA CITADA

- Adame-García J, Murillo-Cuevas FD, Fernández-Viveros JA, Cabrera-Mireles H, Cornejo-Castillo R (2024) Effect of microbial biostimulants on seedlings and fruits of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) produced in macrotunnel. *Revista BioCiencias* 11: e1566. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- Al-Tammar FK, Khalifa AYZ (2023) An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. *Journal of Applied Biology and Biotechnology* 11(4): 34-43. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.130126>
- Amaresan N, Kumar K, Jinal HN, Bapatla KG, Mishra RK (2018) *Streptomyces* in plant growth promotion: Mechanisms and role. In: Singh BP, Gupta VK, Passari AK (eds) *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. Elsevier. Estonia. pp. 125-135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63994-3.00008>
- Aremu AO, Masondo NA, Rengasamy KRR, Amoo SO, Gruz J, Biba O, Subrtova M, Pencik A, Novak O, Dolezal K, Van-Staden J (2015) Physiological role of phenolic biostimulants isolated from brown seaweed *Ecklonia maxima* on plant growth and development. *Planta* 241: 1313-1234. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2256-x>
- Boukhari MEM, Barakate M, Bouhia Y, Lyamlouli K (2020) Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant system. *Planta* 9: 359: 1-23 <https://doi.org/10.3390/plants9030359>
- Cedeño-Guerra JL, Ardisana EFH, Torres-García A, Fosado-Téllez O (2020) Respuestas del crecimiento y el rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.) híbrido Nathalie a un lixiviado de vermicompost bovino. *La Técnica Revista de las Agrociencias, Edición Especial*: 1-10.
- Chan-Cupul W, González-Bolaños KN, Avalos-Arceo A de J, Sánchez-Rangel JC (2024) Influencia de la inoculación de *Trichoderma harzianum* y la poda sobre el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agroindustrial Science* 13(3): 173-180. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.08>
- Cobeña-Montes YL, Torres-García A, Héctor EF, Fosado-Téllez O, León-Aguilar R (2022) Efectos de bioestimulantes en las clorofilas y el número de hojas en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en condiciones semiprotegidas. *La Técnica Revista de las Agrociencias, Edición Especial*: 15-26. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4096
- Datt-Joshi D, Changkija S, Sujata W, Gopalrao-Somkuwar B, Singh-Rana V, Talukdar NC (2017) Nutraceutical from *Capsicum chinense* fruits in shelf-stable herbal matrix. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 42(1): 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.006>
- du Jardí P (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Ertani A, Pizzeghello D, Francioso O, Sambo P, Sánchez-Cortes S, Nardi S (2014). *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: chemical and metabolomic approaches. *Frontiers in Plant Science* 5: 375. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00375>
- Ertani A, Sambo P, Nicoletto C, Santagata S, Schiavon M, Nardi S (2015) The use of organic biostimulants in hot pepper plants to help low input sustainable agriculture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2(11): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0039-z>
- Goto K, Yabuta S, Ssenyonga P, Tamaru S, Jun-Ichi S (2021) Response of leaf water potential, stomatal conductance and chlorophyll content under different levels of soil water, air vapor pressure deficit and solar radiation in chili pepper (*Capsicum chinense*). *Scientia Horticulturae* 281: 109943. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109943>
- Hassan SM, Ashour M, Soliman AA, Hassanien HA, Alsanie WF, Gaber A, Elshobary ME (2021) The potential of a new commercial seaweed extract in stimulating morpho-agronomic and bioactive properties of *Eruca vesicaria* (L.) Cav. *Sustainability* 13(8): 4485. <https://doi.org/10.3390/su13084485>

- Kulkarni MG, Rengasamy KKR, Pendota SC, Gruz J, Plackova L, Novak O, Dolezal K, Van-Staden J (2019) Bioactive molecules derived from smoke and seaweed *Ecklonia maxima* showing phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L. *New Biotechnology* 40:83-89. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.08.004>
- Kumari M, Swarupa P, Kesari KK, Kumar A (2022) Microbial inoculants as plant biostimulants: A review on risk status. *Life (Basel)* 13(1): 1-12. <https://doi.org/10.3390/life13010012>
- La-Bella S, Consentino BB, Rouphael Y, Ntatsi G, De Pasquale C, Iapichino G, Sabatino L (2021) Impact of *Ecklonia maxima* seaweed extract and Mo foliar treatments on biofortification, spinach yield, quality and NUE. *Plants* (10): 1139. <https://doi.org/10.3390/plants10061139>
- Llamas-Rodríguez DD, Chan-Cupul W, García-López FA, Hernández-Ortega HA (2024) Rendimiento de dos híbridos de híbridos de *Capsicum chinense* Jacq. en bolsas de cultivo con fibra de coco. *Avances en Investigación Agropecuaria* 28(1): 43-54. <http://doi.org/10.53897/RevAIA.24.28.04>
- Luna-Fletes JA, Cruz-Crespo E, Can-Chulim A, Chan-Cupul W, Luna-Esquivel G, García-Paredes JD, Aguilar-Benítez G, Palemón-Alberto F, Mancilla-Villa OR (2023) Biofertilizantes y sustratos orgánico-minerales en el cultivo de chile habanero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 46(2): 137-146. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.137>
- Manullang W, Chuang H (2020) *Streptomyces* sp. mitigates abiotic stress response and promotes plant growth. *Journal of Plant Protection Research* 60(3): 263-274. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133955>
- Moreno-Salazar R, Sánchez-García I, Chan-Cupul W, Ruiz-Sánchez E, Hernández-Ortega HA, Pineda-Lucatero J, Figueroa-Chávez D (2020) Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* 261: 08950. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>
- Nogueira de Moura-Guerra AM, da Silva-Cruz L, Dias de Jesus AC, Andrade-Santos P, Fernandes-Aquino C (2023) Uso de bioestimulante Stimulate® na producao de mudas de pimentao (*Capsicum annuum* L.). *Recital Revista de Educacao Ciencia e Tecnologia de Almenara* 5(1): 45-57. <https://doi.org/10.46636/recital.v5i1.305>
- Panda D, Pramanik K, Nayak BR (2012) Use of sea weed extracts as plant growth regulators for sustainable agriculture. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management* 3(3): 404-411.
- Papenfus HB, Stirk WA, Finnie JF, Van-Staden, J (2012) Seasonal variation in the polyamines of *Ecklonia maxima*. *Botánica Marina* 55(5): 539-546. <https://doi.org/10.1515/bot-2012-0150>
- Ramírez-Meraz M, Méndez-Aguilar R, Zepeda-Vallejo LG, Hernández-Guerrero CJ, Hidalgo-Martínez D, Becerra-Martínez E (2024) Exploring the chemical diversity of *Capsicum chinense* cultivars using NMR-based metabolomics and machine learning methods. *Food Research International* 178: 113796. <https://doi.org/10.1016/j.foodres>
- Rekanović E, Potočnik I, Milijašević-Marčić E, Stepanović M, Todorović B, Mihajlović M (2010) Efficacy of seaweed concentrate from *Ecklonia maxima* (Osbeck) and conventional fungicides in the control of *Verticillium* wilt of pepper. *Pesticides and Phytomedicine* 25(4): 319-324. <https://doi.org/10.2298/PIF1004319R>
- Righini H, Cetrullo S, Bissoli I, Zuffi V, Martel-Quintana A, Flamigni F, Francioso O, Roberti R (2023) Evaluating *Ecklonia maxima* water-soluble polysaccharides as a growth promoter of tomato seedlings and resistance inducer to *Fusarium* wilt. *Scientia Horticulturae* 317: 112071. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112071>
- Robles-Hernández L, Hernández-Huerta J, González-Franco A, Hernández-Rodríguez O, Núñez-Barríos A, Pérez-Leal R (2015) *Streptomyces* PRIO41 como promotor de crecimiento en plantas de chile jalapeño y agente de control biológico de fusarium. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 84(2): 253-261.
- Ruiz-Sánchez E, Chan-Escalante ZF, Ballina-Gómez HS, Fernández-Herrera MA, Góngora-Gamboa CJ (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(1):1-8. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3757>
- Satish-Chhapekar S, Brahma V, Rawoof A, Kumar N, Gaur R, Jaiswal V, Kumar A, Yadava SK, Kumar R, Sharma V, Babu SS, Ramchiary N (2020) Transcriptome profiling, simple sequence repeat markers development and genetic diversity analysis of potential industrial crops *Capsicum chinense* and *C. frutescens* of Northeast India. Industrial Crops and Products 154: 112687. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112687>
- Sible CN, Seebauer JR, Below FE (2021) Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. Agronomy 11(7): 1297. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071297>
- Sousa JAJ, Olivares FL (2016) Plant growth promotion by *Streptomyces*: ecophysiology, mechanisms and applications. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 3(24): 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0073-5>
- Subedi B, Poudel A, Samikshya A (2023) The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. Journal of Agriculture and Food Research 14: 100733. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>
- Tapia-Vargas M, Larios-Guzmán A, Díaz-Sánchez DD, Ramírez-Ojeda G, Hernández-Pérez A, Vidales-Fernández I, Guillén-Andrade H (2016) Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Fitotecnia Mexicana 39(3): 241-245.
- Toscano-Verduzco FA, Cedeño-Valdivia PA, Chan-Cupul W, Hernández-Ortega HA, Ruiz-Sánchez E, Galindo-Velasco E, Cruz-Crespo E (2019) Phosphates solubilization, indol-3-acetic acid and siderophores production by *Beauveria brongniartii* and its effect on growth and fruit quality of *Capsicum chinense*. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 95(2): 235-246. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1662737>
- Valdovinos-Nava W, Chan-Cupul W, Hernández-Ortega HA, Ruiz-Sánchez E (2020) Effects of biological and mineral fertilization on the growth, nutrition, and yield of *Capsicum chinense* under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition 43(15): 2286-2298. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771586>