

Aplicación foliar de caolinita y *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis en chile dulce (*Capsicum annuum* L.)

Foliar Spray of Kaolinite and *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis on Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.)

José Eladio Monge-Pérez^{1*} orcid.org/0000-0002-5384-507X

Michelle Loría-Coto² orcid.org/0000-0003-0456-2230.

¹Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica.

²Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Sabanilla, Costa Rica.

*Autor de correspondencia: jose.mongeperez@ucr.ac.cr

Resumen

Objetivo: evaluar el efecto de la aplicación foliar de caolinita y extracto del alga marina *Ascophyllum nodosum* (cuatro tratamientos: caolinita, extracto de *A. nodosum*, caolinita+extracto de *A. nodosum* y testigo) sobre el rendimiento y la calidad del chile dulce cv. Jumbo cultivado bajo invernadero en Costa Rica. **Materiales y métodos:** las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, peso del fruto (g) y rendimiento (t/ha). El cultivo se manejó con fertiirrigación, en sustrato de fibra de coco. **Resultados:** no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las siguientes variables: número de frutos por planta (total, comercial y primera y segunda calidad); peso del fruto de primera y segunda calidad; y rendimiento (todas las categorías de calidad). **Conclusión:** la aplicación de caolinita y extracto de *A. nodosum* (solos y combinados) no mejoró el rendimiento o calidad del chile dulce, por lo que no se recomienda su uso, bajo las condiciones en que se realizó el estudio.

Abstract

Objective: to evaluate the effect of foliar spray of kaolinite and *Ascophyllum nodosum* seaweed extract (four treatments: kaolinite; *A. nodosum* extract; kaolinite+*A. nodosum* extract; and control) on the yield and quality of bell pepper cv. Jumbo grown under greenhouse conditions in Costa Rica. **Materials and methods:** evaluated variables were: number of fruits per plant, fruit weight (g), and yield (t/ha). The crop was planted on coconut fiber as substrate and managed with fertigation. **Results:** there were no statistically significant differences between treatments for the following variables: number of fruits per plant (total, commercial, and first and second quality); weight of the first and second quality fruit; and yield (all quality categories). **Conclusion:** the application of kaolinite and *A. nodosum* extract (alone and combined) did not improve neither the yield nor the quality of bell pepper, so their use is not recommended under the conditions in which the study was carried out.

Palabras clave

calidad, rendimiento, peso del fruto, extracto de algas, invernadero.

Keywords

quality, yield, fruit weight, seaweed extract, greenhouse.

Introducción

El chile dulce, *Capsicum annuum* L., es una hortaliza importante de la familia Solanaceae, originaria de las zonas tropicales y subtropicales de América, que se cultiva alrededor del mundo por su sabor y color; se usa como ensalada, cocida como hortaliza, en conserva o procesado (Ashrafunnesa *et al.*, 2018; Roy *et al.*, 2019).

El estrés causado por alta temperatura es uno de los principales factores que limitan el crecimiento en muchas especies de plantas, puede provocar la caída y pérdida de frutos, disminución en su tamaño y calidad y menor floración de la planta (Sharma *et al.*, 2015). La reducción en el crecimiento y desarrollo se produce debido a cambios en los procesos fisiológicos, que son producto de la disminución en los niveles de determinadas enzimas, de desequilibrio entre su velocidad de formación y de degradación, a favor de esta última (Morales *et al.*, 2006). La respuesta de las plantas al estrés por alta temperatura involucra cambios en los organelos, tales como los cloroplastos; la degradación de la clorofila y la reducción en la fotosíntesis, debido a perturbaciones en el aparato fotosintético, especialmente el fotosistema II (Sharma *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2015). Otros autores enumeran las diversas consecuencias del estrés por alta temperatura sobre la fisiología de la planta (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017a).

Los protectores de cultivos, que en su mayoría son sustancias naturales, representan una alternativa para mitigar los efectos adversos en frutos y hojas por las altas temperaturas (Sharma *et al.*, 2018); estos protectores forman una película de color blanco sobre el área aplicada, con la finalidad de reflejar la luz, reducir la temperatura y obstruir los estomas, todo lo cual puede reducir la transpiración de los tejidos (Santos *et al.*, 2010). Los protectores de cultivos se producen a partir de arcilla caolinita, carbonato de calcio y productos derivados de ceras (Santos *et al.*, 2010). No obstante, la mayoría de los protectores están elaborados de caolinita, el cual es un mineral aluminosilicato, de color blanco, no poroso, de grano fino y poco abrasivo, que se dispersa fácilmente en agua y es químicamente inerte en un amplio rango de pH (Sharma *et al.*, 2015).

Las películas de caolinita reflejan la radiación visible y la ultravioleta, y puede aumentar el rendimiento de la planta debido principalmente a la reducción en la temperatura del fruto, la hoja y el dosel en diversos cultivos, tales como manzana, tomate, granada, café, uva y toronja (Glenn, 2009; Colavita *et al.*, 2011; Ergun, 2012; Sharma *et al.*, 2015; Dinis *et al.*, 2017). Asimismo, la aplicación foliar de caolinita reduce el daño de quema provocada por el sol en frutos de manzana, pera, tomate, chile dulce, melón, mango, uva y granada (Glenn, 2009; Santos *et al.*, 2010; Colavita *et al.*, 2011; Ergun, 2012; Abd-Allah *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2015; Boari *et al.*, 2016; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017b; Sharma *et al.*, 2018). Aunado a esto, la caolinita mejora la distribución de la

luz en el dosel y resulta mayor la fotosíntesis; por tanto, una mayor ganancia de carbono a nivel de la planta (Glenn, 2009; Ergun, 2012; Sharma *et al.*, 2015), ayuda a reducir el daño provocado por insectos y enfermedades (Sharma *et al.*, 2015).

Por otra parte, las algas marinas, particularmente las algas pardas (Phaeophyta), *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, *Macrocystis pyrifera* y *Durvillea potatorum* son las más usadas para elaborar extractos y aplicarlos en agricultura y horticultura, debido a sus efectos promotores de crecimiento y productividad, además de que pueden aumentar la tolerancia de los cultivos a diversos tipos de estrés abiótico, tales como salinidad, temperaturas extremas, deficiencias nutricionales y sequía (Battacharyya *et al.*, 2015; Pohl *et al.*, 2019). Los constituyentes químicos bioactivos de los extractos de algas incluyen betaínas, aminoácidos, polisacáridos, ácidos grasos, vitaminas, compuestos fenólicos, esteroides, reguladores del crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y brasinoesteroides) y nutrientes minerales (Battacharyya *et al.*, 2015; Espinosa-Antón *et al.*, 2020). Particularmente, los componentes inorgánicos de los extractos del alga *A. nodosum* incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio y azufre (Battacharyya *et al.*, 2015).

Los extractos de algas modifican el metabolismo celular por la inducción de la síntesis de moléculas antioxidantes que pueden mejorar el crecimiento vegetal y la resistencia de las plantas al estrés (Sarhan y Ismael, 2014). Se informó que la aplicación de extractos de algas provocó un aumento en el rendimiento en papa, pepino y repollo chino, así como el contenido de sólidos solubles totales en fresa; por otra parte, la aplicación de extractos del alga *A. nodosum* en chile dulce provocó el aumento del tamaño del fruto (Sarhan y Ismael, 2014).

En el cultivo de chile dulce, los mecanismos básicos de acción de los extractos de algas incluyen la aceleración del crecimiento, de la absorción de nutrientes y del desempeño de la fotosíntesis, lo que puede inducir la tolerancia de la planta a condiciones ambientales adversas, el mejoramiento de la floración, del cuajado de frutos y del rendimiento y la mejora de la calidad nutricional del cultivo (Pohl *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de caolinita y extracto de *A. nodosum* (solos y combinados), sobre el rendimiento y la calidad del chile dulce cultivado bajo condiciones de invernadero en Costa Rica.

Materiales y métodos

El experimento se realizó de julio 2014 a abril 2015, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José en Alajuela, Costa Rica, a 10° 1' latitud Norte, 84° 16' longitud Oeste y a una altitud de 883 msnm, con promedios anuales de precipitación de 1,940 mm (distribuidos de mayo a noviembre) y de temperatura de 22 °C.

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero, modelo XR de la marca Richel (Francia), tipo multicapilla, con techo de plástico, ventilación cenital automática y sistema de riego por goteo para proporcionar a las plantas el suministro de agua y nutrientes. El agua utilizada tenía un pH de 5.8 y una conductividad eléctrica de 0.7 mS/cm. Se utilizó

la metodología de fertirrigación y manejo integrado de plagas descrito por otros autores (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2019).

Se utilizó el genotipo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cv. Jumbo, que corresponde a un híbrido F-1, producido por la empresa Villaplants (Costa Rica), y cuyos frutos son de forma cónica y de color rojo a la madurez, con una longitud promedio de 13.62 cm, 5.73 cm de diámetro y 4.81 mm de espesor del pericarpio (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2016).

La siembra del almácigo se realizó en bandejas plásticas de germinación de 128 celdas; se utilizó un sustrato compuesto por 50% de fibra de coco molida y 50% de abono orgánico marca Juan Viñas.

El trasplante se realizó a los 38 días después de la siembra. Las plántulas se establecieron en sacos de 1 m de longitud, 22 cm de ancho y 22 cm de altura, rellenos con sustrato inerte de fibra de coco molida, de granulometría media. La densidad de siembra fue de 2.60 plantas/m², que corresponde a cuatro plantas por metro lineal (cada saco); es decir, una distancia entre plantas de 25 cm, y entre hileras de 1.54 m.

Se aplicó la poda holandesa a todas las plantas; la primera poda se hizo a los 38 días después del trasplante (ddt), y luego se siguió realizando periódicamente. La poda holandesa consiste en dirigir la planta a dos guías, eliminando posteriormente una de las dos bifurcaciones en que se va dividiendo cada rama (Monge-Pérez y Loría-Coto, 2018).

Se evaluaron cuatro tratamientos (cuadro 1). La aplicación foliar de los tratamientos se realizó cada 14 días, a partir del trasplante y hasta el final del ensayo, para un total de 18 aplicaciones; en cada aplicación se cubrió toda la planta (hojas, tallos y frutos) y se usó el volumen suficiente de caldo para garantizar una cobertura completa del dosel. Se utilizaron tres aspersores manuales de espalda marca Volpi, de 18 litros de capacidad; uno de ellos se usó para la caolinita, otro para el extracto de *A. nodosum* y el otro para la aplicación de agua, esto se hizo para evitar la contaminación de los tratamientos. Para la aplicación del tratamiento 3, se aplicó el extracto de *A. nodosum* el mismo día en que se aplicaron los otros tratamientos, y dos días después se aplicó la caolinita. Para la aplicación del tratamiento 4 se utilizó solamente agua.

Cuadro 1
Tratamientos evaluados en el ensayo

Número	Tratamiento	Dosis
1	Caolinita	30 g/L
2	Extracto de <i>A. nodosum</i>	5 mL/L
3	Caolinita + Extracto de <i>A. nodosum</i>	30 g/L + 5 mL/L
4	Testigo (agua)	n.a.

Nota: n.a.: no aplica.

La fuente de caolinita fue el producto JMX-Kaolin, en presentación sólida, producido en Estados Unidos, a partir de partículas calcinadas de caolinita. La fuente de extracto

de *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis fue el producto JMX-Algas en presentación líquida, producido en Holanda con fuentes 100% naturales, que corresponden a 90% p/v de extracto de dicha alga marina. La cosecha inició a los 79 ddt, una o dos veces a la semana hasta los 242 ddt, recolectando los frutos que mostraban al menos un 50% de madurez. Los frutos cosechados se clasificaron de acuerdo con los parámetros de calidad definidos en otra investigación (Monge-Pérez y Loría-Coto, 2018). Se registró el número de frutos de cada categoría de calidad y los mismos se pesaron mediante el uso de una balanza electrónica (Ocony, modelo TH-IEK de $5,000.0 \pm 0.1$ g de capacidad).

Se registraron los datos de temperatura y humedad relativa que prevalecieron dentro del invernadero, mediante sensores y un registrador de datos marca Onset, modelo HOBO U30. Durante el período en que se desarrolló el ensayo, la temperatura promedio dentro del invernadero fue: diurna de 26.7 °C (con extremos máximos de 37.9 °C) y nocturna de 19.4 °C (con extremos mínimos de 14.1 °C). La humedad relativa promedio fue: diurna de 56.1% (extremos mínimos de 20%) y nocturna de 86.2% (extremos máximos de 100%). A partir de diciembre de 2014, aumentó la temperatura diurna y descendió la temperatura nocturna, y también bajó la humedad relativa, tanto diurna (promedio diario entre 30-60%) como nocturna (promedio diario entre 60-92%); esto correspondió al inicio y establecimiento de la temporada seca.

Las variables evaluadas fueron:

- Número de frutos por planta: se determinó el número de frutos por planta para cada categoría de calidad, realizando una sumatoria de los frutos obtenidos en todas las cosechas y luego se dividió entre el número de plantas por parcela.
- Peso promedio del fruto: se determinó realizando una sumatoria del peso en gramos de todos los frutos registrados durante todas las cosechas y luego se dividió entre el número de frutos totales, esta variable se determinó para cada categoría de calidad del fruto.
- Rendimiento por hectárea: se calculó a partir del peso de los frutos cosechados y de la densidad de siembra, para cada categoría de calidad del fruto. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso de la producción de las categorías de primera y segunda calidad, el rendimiento total se obtuvo sumando el peso obtenido para las tres categorías de calidad.

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar y se utilizaron cuatro tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres sacos (ubicados en hilera) con cuatro plantas cada uno, y la parcela útil estuvo conformada por las cuatro plantas ubicadas en la posición central de la misma; las plantas restantes sirvieron como bordes, para evitar la contaminación entre tratamientos. Entre un bloque y otro se dejó una hilera de plantas para que sirviera como borde y así evitar la contaminación entre tratamientos, debido al efecto de deriva del producto al hacer la aplicación foliar de cada tratamiento. Para todas las variables se realizó un análisis estadístico de varianza y se utilizó la prueba LSD Fisher con una significancia de 5% para confirmar o descartar diferencias entre tratamientos.

Resultados

En el cuadro 2 se presentan los datos obtenidos para el número de frutos por planta. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos por planta para los frutos totales, comerciales y de primera y segunda calidad; solamente en el caso de los frutos de calidad de rechazo, el tratamiento con caolinita produjo un mayor número de frutos por planta, en comparación con el testigo.

Cuadro 2
Número de frutos por planta, según categoría de calidad

Tratamiento	Número de frutos por planta, según calidad				
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Rechazo
Caolinita	30.17	21.58	9.17	12.42	8.58 b
Extracto de <i>A. nodosum</i>	26.92	20.50	10.67	9.83	6.42 ab
Caolinita + Extracto de <i>A. nodosum</i>	26.17	19.08	8.67	10.42	7.08 ab
Testigo	26.17	21.42	11.58	9.83	4.75 a
EEM	0.98	0.91	0.57	0.53	0.46
p	0.4080	0.7653	0.1791	0.3083	0.0428

Nota: Datos con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

En el cuadro 3 se presentan los datos de peso promedio del fruto. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el peso del fruto de primera y segunda calidad. Para las calidades de rechazo, comercial y total, los tratamientos caolinita y caolinita + extracto de *A. nodosum* obtuvieron frutos con un peso menor, en comparación con los otros tratamientos; asimismo, no se presentaron diferencias entre los tratamientos extracto de *A. nodosum* y testigo.

Cuadro 3
Peso promedio del fruto, según categoría de calidad

Tratamiento	Peso promedio del fruto (gramos), según calidad				
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Rechazo
Caolinita	81.73 a	90.06 a	109.59	75.44	61.80 a
Extracto de <i>A. nodosum</i>	90.80 b	97.69 b	113.47	81.02	69.80 b
Caolinita + Extracto de <i>A. nodosum</i>	82.09 a	90.67 a	110.96	73.61	58.23 a
Testigo	92.78 b	97.59 b	115.83	77.25	70.89 b
EEM	1.25	1.14	1.22	1.14	1.80
p	<0.0001	0.0093	0.2975	0.1559	0.0093

Nota: Datos con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

En el caso del rendimiento no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, para ninguna de las calidades del fruto (cuadro 4).

Cuadro 4
Rendimiento por hectárea, según categoría de calidad

Tratamiento	Rendimiento hasta los 242 ddt (t/ha), según calidad				
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Rechazo
Caolinita	64.57	50.72	26.48	24.24	13.85
Extracto de <i>A. nodosum</i>	63.43	51.80	31.22	20.58	11.63
Caolinita + Extracto de <i>A. nodosum</i>	55.87	44.99	24.92	20.07	10.89
Testigo	63.21	54.42	34.66	19.77	8.79
EEM	2.43	2.33	1.71	1.05	0.77
p	0.5180	0.5161	0.0958	0.4524	0.1875

Nota: Datos con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

Discusión

Con relación al número de frutos por planta, Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017) reportaron 29.5 frutos, de los cuales 25.5 fueron comerciales (7.0 de primera calidad y 18.5 de segunda calidad), mientras que 4.0 fueron de categoría de rechazo del híbrido Jumbo con la misma densidad de siembra, con poda española y con un período de cosecha de 238 ddt. En comparación con esos datos, en el presente ensayo se produjo mayor cantidad de frutos de primera calidad y de rechazo, así como menor cantidad de frutos de segunda calidad por planta; una posible explicación es que la poda holandesa haya favorecido el mejoramiento de la calidad de los frutos, en comparación con la poda española.

Ashrafunnesa *et al.* (2018) informaron que la aplicación foliar de caolinita en chile dulce en Bangladesh provocó un aumento significativo en el número de frutos por planta (5.93), en comparación con el testigo (4.03). En forma contraria, en el presente ensayo el número de frutos totales por planta fue similar al testigo; esto se podría explicar debido a las diferencias en las condiciones ambientales prevalcientes en ambos sitios. En el caso de los frutos de calidad de rechazo, el tratamiento con caolinita obtuvo un mayor número, con respecto al testigo; esto se podría explicar por un eventual efecto perjudicial de la película de caolinita sobre las hojas, que habría causado una excesiva obstrucción de los estomas, y afectado la fotosíntesis y el llenado de los frutos.

Por otra parte, otros investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de algas en chile dulce provocó un aumento significativo en el número de frutos por planta, en comparación con el testigo: 16.7-17.3 *versus* 9.7-10.7 (Shabana *et al.*, 2015) y 23.0-44.3 *versus* 18.1 (Hussein *et al.*, 2019). Sin embargo, de manera contraria, otros autores informaron que las plantas de chile dulce que recibieron la aplicación foliar de extractos de algas, incluyendo *A. nodosum*, produjeron un número de frutos totales por

planta igual al testigo: 2.0-2.7 *versus* 1.9-3.6 (Arthur *et al.*, 2003), 14-16 *versus* 14 (Anchundia, 2017), 6.8-7.3 *versus* 6.4 (Andrade y Garcés, 2019) y 5.2 *versus* 5.0 (Coello, 2020). Todos estos resultados son similares a los obtenidos en el presente ensayo, lo que se podría explicar debido a la presencia de factores bióticos o abióticos que afectaron la producción de las plantas y no permitieron que se manifestaran los potenciales efectos benéficos del extracto de *A. nodosum*.

Shahen *et al.* (2019) informaron sobre la respuesta errática del chile dulce en invernadero a la aplicación de tres dosis de extractos de algas (0.5, 1.0 y 2.0 g/L); en el primer año el tratamiento con algas produjo un mayor número de frutos por planta, únicamente con la dosis intermedia (23.73) en comparación con el testigo (22.33), pero en el segundo año el mayor número de frutos por planta (23.93) en comparación con el testigo (22.60) se produjo solamente con la dosis mayor.

Con respecto al peso del fruto, en otro ensayo bajo condiciones de invernadero, con la misma densidad de siembra y con poda española, el híbrido Jumbo produjo frutos con un peso de 121.65 g en primera calidad, 116.70 g en segunda calidad y 54.20 g en calidad de rechazo (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2017). En comparación con esos datos, en el presente trabajo se obtuvieron valores menores para los frutos de primera y segunda calidad, y valores mayores para los frutos de categoría de rechazo; esto se podría explicar por las diversas condiciones ambientales que se presentaron durante ambos ensayos, lo que habría causado diferencias en la partición de asimilados entre los sumideros (frutos).

Según varios investigadores, la aplicación foliar de caolinita en chile dulce provocó un aumento significativo en el peso del fruto en comparación con el testigo: 61.5-63.8 *versus* 43.2-44.5 g (Abdel-Aziz y Geeth, 2018) y 88.11 *versus* 83.93 g (Ashrafunnesa *et al.*, 2018); lo mismo sucedió en los cultivos de pera, tomate y manzana (Glenn, 2009; Colavita *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2015; Boari *et al.*, 2016). Por el contrario, en el presente ensayo el peso del fruto (total, comercial y rechazo) de las plantas tratadas con caolinita (sola o combinada con *A. nodosum*) fue menor que el del tratamiento testigo, una posibilidad es que la aplicación de caolinita sobre las hojas haya sido excesiva, lo que habría afectado la fotosíntesis, por lo que habría menos fotosintatos disponibles para el llenado de los frutos.

En otros ensayos, la aplicación de caolinita no provocó cambios en el peso del fruto, en comparación con el testigo, en los cultivos de mango (Abd-Allah *et al.*, 2013) y tomate (Djurovic *et al.*, 2016); esto mismo sucedió en el presente trabajo para los frutos de primera y segunda calidad de chile dulce.

Por otra parte, Hussein *et al.* (2019) informaron que la aplicación foliar de extractos de algas marinas en chile dulce cultivado bajo invernadero aumentó en forma significativa el peso del fruto (70.9-83.3 g), en comparación con el testigo (57.9 g); sin embargo, otros investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de algas, incluyendo *A. nodosum*, en chile dulce, produjo un peso del fruto que fue igual al alcanzado por el testigo: 120-250 *versus* 50-180 g (Arthur *et al.*, 2003), 86.6-93.1 *versus* 84.5 g (Andrade y Garcés, 2019) y 73.2 *versus* 75.0 g (Coello, 2020). Lo mismo sucedió en el presente ensayo con el peso de los frutos de todas las categorías de calidad, la existencia de factores

limitantes a nivel biótico o abiótico podrían explicar la ausencia de efectos benéficos en las plantas debido a la aplicación del extracto de *A. nodosum*.

Shahen *et al.* (2019) evaluaron tres dosis de extractos de algas en chile dulce, y la respuesta con relación al peso del fruto no fue consistente; en el primer año el tratamiento con algas únicamente produjo mayor valor (155.3 g) en comparación con el testigo (148.3 g) a la mayor dosis del extracto, pero en el segundo año no hubo diferencias entre los tratamientos con algas y el testigo.

En cuanto al rendimiento, Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017) cultivaron el híbrido Jumbo con la misma densidad de siembra y con poda española, y obtuvieron un rendimiento total y comercial de 83.47 y 77.67 t/ha, respectivamente. En comparación con esos datos, en la presente investigación se obtuvo menor rendimiento total y comercial, lo que se puede atribuir al uso de la poda holandesa; otros investigadores informaron que el chile dulce con poda española produce mayor rendimiento total y comercial, en comparación con la poda holandesa (Monge-Pérez y Loría-Coto, 2018).

Algunos autores informaron que la aplicación foliar de caolinita en chile dulce provocó un aumento en el rendimiento en comparación con el testigo: 26.6-28.1 *versus* 18.0-18.6 t/ha (Abdel-Aziz y Geeth, 2018) y 27.80 *versus* 16.89 t/ha (Ashrafunnesa *et al.*, 2018); lo mismo sucedió en los cultivos de tomate y uva (Boari *et al.*, 2016; Djurovic *et al.*, 2016, Dinis *et al.*, 2017); sin embargo, con la aplicación foliar de caolinita se obtuvo un rendimiento similar al testigo en los cultivos de mango (Abd-Allah *et al.*, 2013), uva (Cantürk y Kunter, 2021) y lechuga (Gómez y Heredia, 2017), tal y como sucedió en el presente trabajo con el chile dulce.

Por otra parte, varios investigadores informaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum*, y otras), provocó un aumento en el rendimiento de *C. annuum*, en comparación con el testigo: 35.1-36.6 *versus* 21.3-22.6 t/ha (Shabana *et al.*, 2015), 1.27-1.82 *versus* 0.65-1.06 kg/planta (Ali *et al.*, 2019), 1.64-3.69 *versus* 1.06 kg/planta (Hussein *et al.*, 2019), 1.20-2.55 *versus* 0.90 kg/planta (Maraei *et al.*, 2019) y 35.0-43.2 *versus* 31.2-32.7 t/ha (Ashour *et al.*, 2021).

Por el contrario, otros autores no encontraron diferencias significativas en el rendimiento de chile dulce entre la aplicación de extractos de algas y el testigo: 10.83 *versus* 8.47 t/ha (Armijos, 2014), 14.98-17.52 *versus* 16.33 t/ha (Anchundia, 2017), 4.98-5.41 *versus* 4.52 t/ha (Andrade y Garcés, 2019) y 11.53 *versus* 11.25 t/ha (Coello, 2020), tal y como se obtuvo en el presente ensayo, lo que se podría explicar por la existencia de factores de estrés biótico o abiótico que impidieron la expresión de efectos benéficos en el cultivo de chile dulce, producto de la aplicación foliar del extracto de *A. nodosum*.

Shahen *et al.* (2019) evaluaron tres dosis de extractos de algas en chile dulce; en el primer año, los tres tratamientos con algas produjeron mayor rendimiento (3.53-3.63 kg/planta), en comparación con el testigo (3.32 kg/planta); en el segundo año, solamente con la dosis mayor se obtuvo un rendimiento (3.53 kg/planta) superior al testigo (3.38 kg/planta); esto ilustra la importancia del efecto de las condiciones ambientales sobre la respuesta del chile dulce a la aplicación foliar de extractos de algas.

Yildiztekin *et al.* (2018) aplicaron a nivel foliar en chile dulce tres dosis de extracto de *A. nodosum*; con la dosis intermedia (2 g/L) se obtuvo mayor rendimiento (350 g/planta) en comparación con el testigo (335 g/planta), pero con las otras dos dosis (1 y 3 g/L) el rendimiento fue igual al testigo.

Según López-López y Benavides-León (2014), los valores climáticos óptimos para chile dulce en invernadero son: 65-70% de humedad relativa, 10-12 °C de temperatura mínima, 22-28 °C de temperatura óptima diurna, 16-18 °C de temperatura óptima nocturna y 28-32 °C de temperatura máxima; otros autores indicaron que el umbral mínimo de temperatura es de 13 °C, el rango óptimo es de 20-24 °C y el umbral máximo es de 30 °C (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017a). En el presente ensayo se presentaron dentro del invernadero temperaturas máximas que superaron tanto la temperatura máxima como el umbral máximo óptimo, y también se presentaron valores de humedad relativa diurna promedio y mínima que fueron inferiores a la humedad relativa óptima; por lo tanto, se puede afirmar que las plantas de chile dulce estuvieron expuestas a condiciones de estrés abiótico, debido a alta temperatura y baja humedad relativa que probablemente afectaron la fisiología de las plantas, lo que ocasionó que no se manifestara una respuesta favorable del cultivo a los tratamientos aplicados a nivel de las variables evaluadas.

Karapanos *et al.* (2008) informaron que, en el cultivo de chile dulce, las altas temperaturas durante la floración perjudican la producción y germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización e inducen el fenómeno de heterostilia, lo que provoca la abscisión de la flor y la disminución en el cuajado de frutos; cuando se dan temperaturas diurnas mayores a 34 °C y temperaturas nocturnas mayores a 21 °C, el aborto de yemas florales constituye un serio problema en este cultivo. Los mismos autores indicaron que, cuando se presentan altas temperaturas durante el día en un invernadero, hay una reducción progresiva en el peso del fruto de chile dulce. En el presente ensayo se presentaron temperaturas diurnas de hasta 37.9 °C, lo que pudo haber causado alto nivel de estrés térmico, el cual no logró ser atenuado por los tratamientos utilizados, por lo que la calidad y el rendimiento obtenidos no fueron diferentes del testigo.

Por otra parte, la humedad relativa es un factor ambiental que afecta seriamente la polinización y el cuajado de frutos en chile dulce, especialmente cuando se cultiva en invernadero; la humedad relativa afecta en forma importante la liberación de los granos de polen de las anteras, así como la receptividad del estigma, ya sea previniendo o induciendo su desecación; para lograr un aumento en el cuajado de frutos y el rendimiento total, es deseable que la humedad relativa dentro del invernadero se mantenga alta (80-90%) durante el día y baja (60-70%) durante la noche (Karapanos *et al.*, 2008). En el presente trabajo, la humedad relativa diurna promedio fue de 56.1% con extremos mínimos de 20%, y a partir de diciembre de 2014 el promedio diurno se situó entre 30-60%; además, la humedad relativa nocturna promedio fue de 86.2% con extremos máximos de 100%; todo esto indica claramente que estas condiciones de humedad relativa no fueron las óptimas para el cultivo de chile dulce, lo que pudo haber afectado la fisiología de la planta en forma importante, causando la desecación del estigma, cuyo efecto estresante no logró ser contrarrestado mediante los tratamientos aplicados, por lo que la calidad y el rendimiento

obtenidos con esos tratamientos fueron iguales a los logrados con el tratamiento testigo. Por lo tanto, no se recomienda el uso de caolinita y extracto de *A. nodosum* en chile dulce bajo las condiciones en que se realizó este estudio.

Conclusiones

La aplicación foliar de caolinita y extracto de *A. nodosum* (solos y combinados) no mejoró el rendimiento o calidad del chile dulce.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica para la realización de este trabajo; asimismo, agradecen la colaboración de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés.

Literatura citada

- Abd-Allah, A.S.; El-Razek, E.A. y Saleh, M.M. (2013). Effect of sun-block materials on preventing sunburn injury of Keitt mango fruits. *Journal of Applied Sciences Research*. 9(1): 567-571.
- Abdel-Aziz, M.A. y Geeth, R.H. (2018). Effect of foliar spray with some silicon sources and paclobutrazol on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under high temperature conditions. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 96(2): 577-593.
- Ali, O.; Ramsuhag, A. y Jayaraman, J. (2019). Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *Plos One*. 14(5): e0216710.
- Anchundia, A.A. (2017). *Comportamiento agronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) por la aplicación de dosis de algas marinas en la zona de Vinces-Ecuador*. Tesis de licenciatura. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias para el Desarrollo, Universidad de Guayaquil. Vinces, Los Ríos, Ecuador.
- Andrade, O. y Garcés, A. (2019). Respuesta productiva del *Capsicum annuum* L. a la aplicación de un bioestimulante como complemento de una fertilización edáfica química. *Revista DELOS*. 12(34): 1-11.
- Armijos, S.I. (2014). *Respuesta del pimiento (Capsicum annuum L.) a la aplicación de bioestimulantes en la parroquia El Progreso, cantón Pasaje*. Tesis de licenciatura. Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador.
- Arthur, G.D.; Stirk, W.A. y Van Staden, J. (2003). Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annuum*. *South African Journal of Botany*. 69(2): 207-211.
- Ashour, M.; Hassan, S.M.; Elshobary, M.E.; Ammar, G.A.G.; Gaber, A.; Alsanie, W.F.; Mansour, A.T. y El-Shenody, R. (2021). Impact of commercial seaweed liquid extract (TAM) biostimulant and its bioactive molecules on growth and antioxidant activities of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Plants*. 10(1045): 1-13.
- Ashrafunnesa, A.; Akter, S.; Monir, M.R. y Kabir, M.H. (2018). Growth and yield response of bell pepper (*Capsicum annuum*) to the application of kaolin and 4-CPA under net protected condition. *Journal of Experimental Biosciences*. 9(1): 9-16.
- Battacharyya, D.; Babgohari, M.Z.; Rathor, P. y Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196: 39-48.
- Boari, F.; Donadio, A.; Pace, B.; Schiattone, M.I. y Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management*. 167: 29-37.
- Cantürk, S. y Kunter, B. (2021). Effects of kaolin particle film treatment on table grape characteristics of cv. Trakya Ilkeren (*V. vinifera* L.). *KSU Journal of Agriculture and Nature*. 24(3): 522-528.
- Chaves-Barrantes, N.F. y Gutiérrez-Soto, M.V. (2017a). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1): 237-253.

- Chaves-Barrantes, N.F. y Gutiérrez-Soto, M.V. (2017b). Respuesta al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1): 255-271.
- Coello, H.E. (2020). *Efecto de la aplicación edáfica y foliar de extractos de algas marinas en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)*. Tesis de licenciatura. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador.
- Colavita, G.M.; Blackhall, V. y Valdez, S. (2011). Effect of kaolin particle films on the temperature and solar injury of pear fruits. *Acta Horticulturae*. 909: 609-615.
- Dinis, L.T.; Malheiro, A.C.; Luzio, A.; Fraga, H.; Ferreira, H.; Gonçalves, I.; Pinto, G.; Correia, C.M. y Moutinho-Pereira, J. (2017). Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*. 55: 1-11.
- Djurovic, N.; Cosic, M.; Stricevic, R.; Savic, S. y Domazet, M. (2016). Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia Horticulturae*. 201: 271-278.
- Elizondo-Cabalqueta, E. y Monge-Pérez, J.E. (2016). Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 29(3): 60-72.
- Elizondo-Cabalqueta, E. y Monge-Pérez, J.E. (2017). Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 30(2): 36-47.
- Elizondo-Cabalqueta, E. y Monge-Pérez, J. E. (2019). Pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Revista Posgrado y Sociedad*. 17(2): 33-60.
- Ergun, M. (2012). Postharvest quality of 'Galaxy' apple fruit in response to kaolin-based particle film application. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 14: 599-607.
- Espinosa-Antón, A.A.; Hernández-Herrera, R.M. y González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*. 20(4): 257-282.
- Glenn, D.M. (2009). Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in 'Empire' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 134(3): 314-321.
- Gómez, F. y Heredia, L.A. (2017). *Efecto de dosis y frecuencia de aplicación de arcilla de caolinita en la producción de lechuga a campo abierto*. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.
- Hussein, H.A.; Jawad, D.H. y Abboud, A.K. (2019). Effect of foliar nutrition by seaweed extract marmarine and basfoliar aktiv in growth and yield of pepper sweet (Along type) Sierra Nevada variety under in plastic houses conditions. *International Journal of Botany Studies*. 4(4): 112-116.
- Karapanos, I.C.; Mahmood, S. y Thanopoulos, C. (2008). Fruit set in solanaceous vegetable crops as affected by floral and environmental factors. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2(Special Issue 1): 88-105.
- López-López, A.J. y Benavides-León, C. (2014). Respuesta térmica del invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 25(1): 121-132.
- Maraei, R.; Eliwa, N. y Aly, A. (2019). Use of some biostimulants to improve the growth and chemical constituents of sweet pepper. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 13(1): 553-561.
- Monge-Pérez, J.E. y Loría-Coto, M. (2018). Producción de chile dulce (*Capsicum annuum*) en invernadero: efecto de densidad de siembra y poda. *Revista Posgrado y Sociedad*. 16(2): 19-38.
- Morales, D.; Rodríguez, P.; Dell'Amico, J.A.; Torrecillas, A. y Sánchez-Blanco, M.J. (2006). Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Amalia). *Cultivos Tropicales*. 27(1): 45-48.
- Pohl, A.; Kalisz, A. y Sekara, A. (2019). Seaweed extracts' multifactorial action: influence on physiological and biochemical status of Solanaceae plants. *Acta Agrobotanica*. 72(1): 1758.
- Roy, S.; Chatterjee, S.; Hossain, M.A.; Basfore, S. y Karak, C. (2019). Path analysis study and morphological characterization of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum*). *International Journal of Chemical Studies*. 7(1): 1777-1784.

- Santos, B.M.; Salame-Donoso, T.P.; Stanley, C.D.; Whidden, A.J.; Snodgrass, C.A. y Henry, M.B. (2010). *Cultural practices for vegetable and small fruit crops: using kaolin clay to reduce sprinkler irrigation for strawberry transplant establishment*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Florida, EEUU.
- Sarhan, T.Z. y Ismael, S.F. (2014). Effect of low temperature and seaweed extracts on flowering and yield of two cucumber cultivars (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Agricultural and Food Research*. 3(1): 41-54.
- Shabana, A.I.; Shafeek, M.R.; Ahmed, H.I. y Abdel-Al, F.S. (2015). Improving growth, fruit setting, total yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annum* L.) by using antioxidant and seaweed extracts. *Middle East Journal of Agricultural Research*. 4(2): 154-161.
- Shahen, S.G.; Abido, A.I.; Alkharpoty, A.A.; Radwan, F.I. y Yousry, M.M. (2019). Seaweed extract and indoleacetic acid foliar application in relation to the growth performance of sweet pepper grown under net house conditions. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*. 24(3): 354-368.
- Sharma, R.R.; Datta, S.C. y Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection*. 114: 18-22.
- Sharma, R.R.; Reddy, S.V. y Datta, S.C. (2015). Particle films and their applications in horticultural crops. *Applied Clay Science*. 116: 54-68.
- Yildiztekin, M.; Tuna, A.L. y Kaya, C. (2018). Physiological effects of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of certain pepper plants grown under salt stress. *Acta Biologica Hungarica*. 69(3): 325-335.
- Zhou, R.; Yu, X.; Kjaer, K. H.; Rosenqvist, E.; Ottosen, C. y Wu, Z. (2015). Screening and validation of tomato genotypes under heat stress using Fv/Fm to reveal the physiological mechanism of heat tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 118: 1-11.

Recepción: 16 de febrero de 2022

Arbitraje: 27 de abril de 2022

Dictamen: 14 de junio 2022

Aceptado: 5 de julio 2022