

Aplicación foliar de fertilizantes y extracto de algas en pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero

Foliar Spray of Fertilizers and Seaweed Extract on Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Greenhouse

Werner Salazar-Salazar¹ orcid.org/0000-0003-1374-7384
José Eladio Monge-Pérez^{2*} orcid.org/0000-0002-5384-507X
Michelle Loría-Coto³ orcid.org/0000-0003-0456-2230

¹Hortitec, Palmares, Costa Rica

²Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica

³Escuela 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 fertilizantes y extracto de algas. **Materiales y métodos.** Se utilizaron cuatro tratamientos: fertilizantes (FF); extracto de algas (A); fertilizantes + extracto de algas (FF+A) y testigo-T para valorar el rendimiento y la calidad del pepino cv. Modan cultivado bajo invernadero en Costa Rica. Las variables evaluadas fueron número de frutos por planta, peso del fruto (g), rendimiento (t/ha), porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix), contenido de clorofila (atLEAF), área foliar (cm²), peso seco foliar (g), peso específico foliar (mg/cm²), altura de planta (cm) y diámetro de tallo (mm). **Resultados.** El tratamiento A obtuvo un número de frutos comerciales y totales por planta significativamente superior a todos los demás tratamientos; también un rendimiento comercial, total y de primera calidad, significativamente superior a los tratamientos FF y T

Abstract

Objective. To evaluate the effects of foliar spray of fertilizers and seaweed extract. **Materials and methods.** Four treatments were evaluated: fertilizers (FF); seaweed extract (SE); fertilizers + seaweed extract (FF+SE); and control-C, for their effect on the yield and quality of cucumber cv. Modan grown under greenhouse conditions in Costa Rica. Evaluated variables were: number of fruits per plant, fruit weight (g), yield (t/ha), percentage of total soluble solids (°Brix), chlorophyll content (atLEAF), leaf area (cm²), leaf dry weight (g), specific leaf weight (mg/cm²), plant height (cm), and stem diameter (mm). **Results.** Treatment SE produced a significantly higher number of commercial and total fruits per plant compared to all other treatments, as well as significantly higher first quality, commercial and total yields when compared to treatments FF and C, but not with regards to FF+SE. No statistically

pero no diferente de FF+A. No se hallaron diferencias estadísticamente relevantes entre tratamientos para el peso del fruto, contenido de clorofila, altura de planta, área foliar, peso seco foliar y peso específico foliar. **Conclusión.** El uso del extracto de algas (A) produjo el mayor rendimiento total y comercial, debido al aumento del número de frutos de primera calidad, mientras que la aplicación de fertilizantes foliares (FF) no mejoró ni el rendimiento ni la calidad en el cultivo de pepino en invernadero, bajo las condiciones en que se realizó el ensayo.

Palabras clave

Calidad, rendimiento, bioestimulante, nutrición, hidroponía.

significant differences between treatments were observed for fruit weight, chlorophyll content, plant height, leaf area, leaf dry weight and leaf specific weight. **Conclusion.** The use of the seaweed extract (SE) produced the highest total and commercial yield, due to the increase in the number of first quality fruits, and the application of foliar fertilizers (FF) under the same conditions did not improve neither the yield of cucumbers nor their quality.

Keywords

Quality, yield, biostimulant, nutrition, hydroponics.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus L.*) es una planta originaria de las regiones tropicales del sur de Asia, donde existen registros desde hace 3 000 años (Mora *et al.*, 2007); pertenece a la familia Cucurbitaceae y es una hortaliza cuyos frutos se consumen como ensalada o en conservas (Monge-Pérez *et al.*, 2021).

La producción de pepino en ambiente protegido depende del suministro de fertilizantes químicos durante el ciclo del cultivo, para lograr un crecimiento y rendimiento ideales (Qu *et al.*, 2019; Toman *et al.*, 2020). Además de la aplicación de fertilizantes al suelo, también se comprobaron los efectos benéficos de su aplicación foliar sobre el crecimiento y desarrollo en el cultivo de pepino (Toman *et al.*, 2020). La aplicación conjunta de fertilización a las raíces y a las hojas del pepino, resultó en aumento significativo en el rendimiento total y en el de frutos de primera calidad, en comparación con la fertilización solamente a las raíces (Maniutiu *et al.*, 2008).

Los bioestimulantes con base de extractos de algas marinas están entre los más modernos y sostenibles promotores del crecimiento vegetal, y se caracterizan por ser biodegradables e inofensivos, lo que los hace compuestos ambientalmente amigables que no provocan residuos tóxicos (Hassan *et al.*, 2021). Entre las sustancias que contienen estos extractos se encuentran ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos, antioxidantes, colorantes, lípidos, minerales, polisacáridos, proteínas y reguladores del crecimiento (Battacharyya *et al.*, 2015; Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Hassan *et al.*, 2021). Los fertilizantes líquidos a partir de algas marinas pueden aumentar el contenido de clorofila y el rendimiento total, así como mejorar el sistema radical de muchas plantas, además de que protegen contra enfermedades y los efectos de diferentes tipos de estrés abiótico, tales como salinidad, temperaturas extremas, deficiencias nutricionales y sequía (Battacharyya *et al.*, 2015), por lo que se utilizan para estimular el crecimiento y aumentar la productividad

en muchos cultivos, como el pepino (Sarhan y Ismael, 2014; Hassan *et al.*, 2021). *Ascophyllum nodosum* es una de las principales algas marinas utilizadas en agricultura y los componentes inorgánicos de sus extractos incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio y azufre (Battacharyya *et al.*, 2015).

Se informó que la aplicación de extractos de algas provocó un aumento significativo en el rendimiento en papa (30-70% más con respecto al testigo), pepino y repollo chino, así como en el contenido de sólidos solubles totales en fresa (Sarhan y Ismael, 2014). La aplicación de extractos de *A. nodosum* mejora la tolerancia al estrés por salinidad en muchos cultivos, como chile dulce, tomate, aguacate y maracuyá; asimismo, en el caso del pepino mejora la tolerancia a enfermedades causadas por patógenos como *Alternaria cucumerinum*, *Didymella appplanata*, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora melonis*, *Erysiphe polygoni*, *E. necator* y *Sphaerotheca fuliginea* (Shukla *et al.*, 2019; Ali *et al.*, 2021).

Motivo por el cual, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de fertilizantes y de un extracto de algas en el cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EE-AFBM), de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, Costa Rica, situada a 10° 1' latitud Norte y 84° 16' longitud Oeste, a una altitud de 883 msnm, con un promedio de precipitación anual de 1 940 mm distribuidos de mayo a noviembre y un promedio anual de temperatura de 22 °C.

El trabajo 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 programa de fertilización se presenta en el cuadro 1 y el manejo integrado de plagas se realizó de acuerdo a la metodología descrita por otros autores (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2019).

Cuadro 1
Programa de fertirrigación utilizado

Edad del cultivo	Concentración del nutriente (mg/l)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	Mo	B
0-14 ddt	150	53	240	165	40	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.09	0.8
15-30 ddt	161	53	265	175	50	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.09	0.8
>30 ddt	172.5	53	290	175	55	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.09	0.8

Nota: ddt = días después del trasplante.

Se utilizó el genotipo de pepino (*C. sativus*) Modan, que corresponde a un híbrido F-1 partenocárpico, de crecimiento indeterminado. El trasplante se realizó el 24 de enero de 2015, cuando las plántulas tenían dos hojas verdaderas. Las plántulas se establecieron en bolsas de crecimiento rellenas con fibra de coco sin tratar y de granulometría media; de 18 L de volumen y de 1 m de longitud. Las bolsas se colocaron a 1.54 m de distancia entre surcos y sin espacio entre una y otra dentro del surco, y se sembraron cuatro plantas por bolsa, con una distancia entre plantas de 25 cm para una densidad de siembra de 2.60 plantas/m².

La poda se realizó para mantener un solo tallo por planta, con deshojas por debajo del último fruto antes de descolgar la planta (acción de bajar la planta, desprendiendo rafia del gancho tutor, cuando esta se acerca al cable de tutoreo).

Se evaluaron cuatro tratamientos a nivel foliar (cuadro 2); la primera aplicación se realizó a los 14 días después del trasplante (ddt) y se continuó aplicando de manera semanal hasta el final del ensayo (95 ddt).

Cuadro 2
Tratamientos evaluados

Número	Tratamiento	Dosis
1	Algas (A)	1 L/ha
2	Fertilizante foliar (FF)	(ver cuadro 3)
3	FF+A	1 L/ha+(ver cuadro 3)
4	Testigo (T)	n.a.

Nota: n.a. = no aplica.

El tratamiento 1 (A) consistió en la aplicación de Cytokin®, un extracto líquido del alga marina *Ascophyllum nodosum*; en el tratamiento 2 (FF) se aplicó un programa de fertilización foliar (cuadro 3); en el tratamiento 3 se analizaron los tratamientos A y FF de manera conjunta en la misma aplicación; en el tratamiento 4 (T) se aplicó agua a todo el follaje. Las aplicaciones foliares se realizaron en el atardecer, con un pulverizador manual marca Carpi de 18 L con una boquilla de cono hueco TX8001.

Cuadro 3
Programa de fertilización foliar utilizado

Fertilizante	Dosis (kg/ha)	Semana después del trasplante								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 20
Sol U gro (12-48-8)	3.4		X	X						
Nutri Leaf (20-20-20)	5.5				X	X	X			
Crop Finisher (4-2-41)	5.5							X	X	X

Nota: Las dosis utilizadas corresponden a las recomendadas en la etiqueta de cada producto.

La cosecha inició el 27 de febrero de 2015 (34 ddt) y se realizó una vez a la semana hasta el 29 de abril de 2015 (95 ddt), se recolectaron los frutos que mostraban color verde oscuro y cuya base y ápice tenían el mismo grosor. Los frutos se clasificaron según categorías de calidad (cuadro 4).

Cuadro 4
Categorías de calidad del pepino

Característica	Categoría de calidad			
	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Longitud del fruto (cm)	Mayor a 20	Entre 16 y 20	Entre 12 y 15.9	Cualquiera
Deformaciones	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes
Daños	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes

Las variables evaluadas fueron:

- 1. 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.
- 2. Peso promedio del fruto (g): se determinó mediante la sumatoria del peso de todos los frutos registrados durante todas las cosechas y luego se dividió entre el número de frutos totales; esta variable se obtuvo para cada categoría de calidad del fruto. Se utilizó una balanza de $20\,000 \pm 1$ g de capacidad, marca UWE, modelo HGM-20K.
- 3. Rendimiento (t/ha): 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 mediante la suma del peso de la producción de las categorías de primera, segunda y tercera calidad; el rendimiento total se obtuvo sumando el peso adquirido para todas las categorías de calidad.
- 4. Porcentaje de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix): se midió en la parte media (pulpa y placenta) de cinco frutos por cada tratamiento, en tres fechas diferentes, y se obtuvo el promedio. Se usó un refractómetro marca Atago, modelo N-1, con rango de $0-32.0 \pm 0.2$ $^{\circ}$ Brix.
- 5. Contenido de clorofila (unidades atLEAF): se midió una vez por mes en las dos hojas más viejas (más cercanas al suelo luego de un deshoje o poda) de cada planta. Se usó un clorofilómetro portátil modelo atLEAF+, validado por Zhu *et al.* (2012) como alternativa al uso de clorofilómetros SPAD.
- 6. Área foliar (cm^2): se midió el área de cada hoja eliminada por deshoje y, al terminar el ciclo de producción, se midió también el área de todas las hojas presentes y se obtuvo el total por planta, se hizo en una planta por repetición. Se utilizó un medidor de área foliar marca Li-Cor, modelo LI-3100.
- 7. Peso seco foliar (g): se midió el peso seco de cada hoja eliminada por deshoje y, al terminar el ciclo de producción, se midió también el peso seco de todas las hojas

presentes y se obtuvo el total por planta, se hizo en una planta por repetición. Se utilizó una balanza marca Ocony, modelo EC-1000H de $1\,000.00 \pm 0.01$ g de capacidad. Las hojas se secaron por cinco días a una temperatura de 60-70 °C.

- 8. Peso específico foliar (mg/cm^2): se obtuvo al dividir el peso seco foliar entre el área foliar de cada repetición.
- 9. Altura de planta (cm): se midió la longitud del tallo al final del ciclo a todas las plantas, desde la superficie del sustrato hasta el meristemo apical de la planta.
- 10. Diámetro del tallo (mm): se midió esta variable a cada metro de distancia a lo largo del tallo, desde la base hasta el extremo apical a todas las plantas al final del ciclo. Se usó un calibrador electrónico, marca EZCal, modelo IP34, con una capacidad de 154.5 ± 0.1 mm.

Se registraron diariamente los datos de temperatura y humedad relativa que prevalecieron dentro del invernadero durante la ejecución del experimento, mediante sensores y un registrador de datos marca Onset, modelo HOB0 U30. Durante el período en que se desarrolló el ensayo, dentro del invernadero la temperatura diurna promedio se ubicó en 29.6 °C y la nocturna en 21.1 °C (con extremos máximos de 37.0 °C y mínimos de 19.2 °C). La humedad relativa diurna promedio fue de 50.5% y la nocturna de 75.3% (con extremos mínimos de 33.1% y máximos de 82.4%).

El diseño experimental consistió en irrestricto al azar y se utilizaron cuatro tratamientos y cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo formada por dos bolsas de crecimiento con cuatro plantas cada una, en donde la primera y última plantas fueron consideradas como bordes, por lo que la parcela útil fue de seis plantas. 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 5 se presentan los datos obtenidos para el número de frutos por planta. El tratamiento A obtuvo un número de frutos comerciales y totales significativamente superior a todos los demás tratamientos. Además, el tratamiento A también obtuvo un mayor número de frutos de primera calidad en comparación con los tratamientos FF y T, pero no fue diferente de FF+A. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las categorías de segunda, tercera y rechazo.

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para el peso promedio del fruto, en ninguna de las categorías de calidad. El peso de los frutos obtuvo un rango de 348.25-362.19 g para la primera calidad, de 231.93-246.31 g para la segunda calidad, de 167.53-216.40 g para la tercera calidad, y de 47.51-79.55 g para la calidad de rechazo.

En el cuadro 6 se presenta el rendimiento obtenido en el ensayo. El tratamiento A obtuvo un rendimiento comercial, total y de primera calidad significativamente superior a los tratamientos FF y T, pero no fue diferente de FF+A. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las categorías de segunda, tercera y rechazo.

Cuadro 5
Número de frutos por planta, según categoría de calidad

Tratamiento	Número de frutos por planta, según calidad					
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
T	24.20 a	22.43 a	18.83 a	3.10	0.63	1.77
A	28.86 b	26.53 b	22.50 b	3.37	0.67	2.33
FF	23.77 a	22.03 a	18.43 a	3.30	0.38	1.73
FF+A	25.10 a	23.37 a	20.33 ab	2.53	0.62	1.73
EEM	0.70	0.60	0.55	0.18	0.06	0.18
p	0.0231	0.0168	0.0200	0.3426	0.3727	0.5975

Nota: T: testigo; A: extracto de algas; FF: fertilización foliar. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

Cuadro 6
Rendimiento, según categoría de calidad

Tratamiento	Rendimiento hasta los 95 ddt (t/ha), según calidad					
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
T	193.70 a	191.36 a	170.56 a	18.66	2.68	2.32
A	238.66 b	235.32 b	211.58 b	20.42	3.32	3.30
FF	195.82 a	193.84 a	171.26 a	21.02	1.95	2.00
FF+A	209.34 ab	206.18 ab	187.70 ab	16.26	2.78	3.16
EEM	6.26	6.17	5.83	1.08	0.29	0.30
p	0.0255	0.0293	0.0261	0.4300	0.4402	0.3532

Nota: T: testigo; A: extracto de algas; FF: fertilización foliar. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

En el cuadro 7 se presenta el porcentaje de sólidos solubles totales del fruto, obtenido en el ensayo. A los 46 ddt, el tratamiento A obtuvo el mayor valor para esta variable, en comparación con los tratamientos FF+A y T, pero no fue diferente de FF. A los 88 ddt, el tratamiento FF obtuvo el menor valor, con respecto a los demás tratamientos. A los 95 ddt no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos. Con respecto al promedio de las tres evaluaciones, el tratamiento A mostró mayor valor con respecto a los tratamientos FF y T, pero no fue diferente de FF+A.

Cuadro 7
Porcentaje de sólidos solubles totales del fruto

Tratamiento	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)			
	Fecha de evaluación (ddt)			Promedio
	46	88	95	
T	3.12 a	3.56 b	2.96	3.21 ab
A	3.44 b	3.68 b	2.88	3.33 c
FF	3.32 ab	3.12 a	3.00	3.15 a
FF+A	3.20 a	3.64 b	3.02	3.29 bc
EEM	0.04	0.06	0.02	0.02
p	0.0216	<0.0001	0.1063	0.0091

Nota: T: testigo; A: extracto de algas; FF: fertilización foliar. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el contenido de clorofila en ninguna de las fechas de evaluación. A los 17 ddt dicho contenido obtuvo un rango de 40.58-41.34 atLeaf, a los 46 ddt de 45.31-48.01 atLeaf y a los 95 ddt de 54.82-57.38 atLeaf.

En el cuadro 8 se presentan los resultados del diámetro del tallo, según la distancia desde el cuello de la planta. Solamente se presentaron diferencias significativas a una altura de 2 m; los tratamientos A y FF+A tuvieron mayor valor para esta variable en comparación con los tratamientos FF y T. En las demás evaluaciones no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 8
Diámetro del tallo

Tratamiento	Diámetro del tallo (mm), según la distancia desde el cuello de la planta (m)						
	0	1	2	3	4	5	6
T	11.87	8.82	7.70 a	7.62	6.88	6.28	5.32
A	12.65	9.14	8.62 b	7.60	7.25	7.18	5.96
FF	11.51	9.04	7.45 a	7.26	6.89	6.72	6.24
FF+A	11.61	9.23	8.81 b	7.89	7.11	6.93	5.89
EEM	0.25	0.19	0.16	0.15	0.15	0.20	0.21
p	0.3950	0.8987	0.0001	0.5857	0.8005	0.4674	0.5193

Nota: T: testigo; A: extracto de algas; FF: fertilización foliar. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher. EEM: error estándar de la media; p: probabilidad.

El área foliar obtuvo un rango de 39 645.90-42 048.32 cm², el peso seco foliar de 177.58-179.55 g, el peso específico foliar de 4.26-4.49 mg/cm², y la altura de planta de 682.60-741.80 cm. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para ninguna de estas variables.

Discusión

La temperatura ideal para el desarrollo del cultivo de pepino es entre los 20 a 25 °C, con máximas y mínimas tolerables de 34 °C y 15 °C, respectivamente (Mora *et al.*, 2007). Por encima de 35 °C este cultivo crece en forma anormal, lo que puede provocar caída o amarillamiento de las hojas, caída de flores y deformidades en el fruto (Yu *et al.*, 2022). Por lo tanto, claramente en el presente ensayo el cultivo creció en condiciones que superaron la temperatura máxima tolerable (con extremos máximos de 37.0 °C), lo que provocó un estrés por alta temperatura. En el caso de la humedad relativa, el valor ideal para el cultivo del pepino es entre 60-70% (Mora *et al.*, 2007), por lo que también se evidencia que la humedad relativa promedio estuvo por debajo de ese rango ideal (con extremos mínimos de 33.1%), lo que provocó un estrés por baja humedad. Por lo tanto, es factible afirmar que ambos factores provocaron un estrés abiótico sobre las plantas.

Con respecto al número de frutos por planta, se halló que el número total de frutos cosechados por planta para el híbrido Modan fue de 8.44 hasta los 60 ddt (Ramírez-Vargas, 2019). Además, se registraron para este híbrido en el invernadero de la EEAFBM un total de 31.60 frutos por planta, hasta los 97 ddt en época lluviosa (Cruz-Coronado y Monge-Pérez, 2020), y 22.04 frutos por planta hasta los 94 ddt en la época seca (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2017); el resultado en el presente trabajo con el tratamiento testigo (24.20 frutos por planta) se acerca al informado por estos últimos investigadores.

La aplicación foliar de extractos de algas produjo un mayor número de frutos por planta (9.73-12.83) que el testigo (8.03-8.63) (Ahmed y Shalaby, 2012); este mismo resultado se obtuvo en el presente trabajo para los frutos totales, comerciales y de primera calidad, lo cual se puede explicar probablemente por un efecto favorable del extracto de algas sobre la fisiología de la planta, que habría ayudado a superar las consecuencias del estrés abiótico y a obtener un mayor cuajado de frutos de primera calidad, por lo que se recomienda el uso del extracto de algas en el cultivo de pepino bajo las condiciones en que se desarrolló la investigación. De manera contraria, en otro ensayo, la aplicación foliar de extractos de algas en pepino produjo la misma cantidad de frutos por planta que en el testigo (Hasan y Hussein, 2020).

Se registró para el híbrido Modan un peso promedio del fruto de 342.60 g (Ramírez-Vargas, 2019). Además, se halló para este híbrido en el invernadero de la EEAFBM un peso del fruto de 254.52 g en época lluviosa (Cruz-Coronado y Monge-Pérez, 2020), y de 304.51 g en la época seca (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2017); el peso del fruto encontrado en el presente ensayo con el tratamiento testigo (308.10 g) se acerca al obtenido por estos últimos investigadores.

Se informó que la aplicación foliar de extractos de algas en pepino en invernadero produjo frutos con un peso similar al testigo (Ascencio, 2008; Sarhan *et al.*, 2011; Zamora *et al.*, 2021); este mismo resultado se obtuvo en el presente trabajo y evidencia que el efecto del extracto de algas únicamente se manifestó en el aumento en el cuajado de frutos, pero no en el llenado de ellos.

Con respecto al rendimiento, el híbrido Modan, hasta los 60 ddt, fue de 48.26 t/ha (Ramírez-Vargas, 2019); mientras que para este híbrido se obtuvo un total de 175.30 t/ha hasta los 94 ddt en la época seca (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2017) y de 211.30 t/ha hasta los 97 ddt en época lluviosa (Cruz-Coronado y Monge-Pérez, 2020); los resultados obtenidos en la presente investigación por los diferentes tratamientos (193.70-238.66 t/ha) se acercan a los registrados por estos últimos autores.

En cuanto a la aplicación foliar de extracto de algas, se produjo mayor rendimiento total en pepino (3.40-4.07 kg/m²), en comparación con el testigo (2.47-2.80 kg/m²) (Hassan *et al.*, 2021); este mismo resultado se obtuvo en el presente trabajo para el rendimiento total, comercial y de primera calidad, y podría explicarse por el efecto del extracto de algas que habría ayudado a superar las consecuencias del estrés abiótico que afectó a las plantas, y a aumentar el cuajado de frutos de primera calidad. Por otra parte, el tratamiento A obtuvo el mismo rendimiento que FF+A en todas las categorías de calidad, lo que evidencia que la aplicación suplementaria de fertilizantes vía foliar no era necesaria, pues la planta estuvo bien nutrida por medio de la fertirrigación, y que el aporte adicional de nitrógeno, fósforo y potasio que brindó la aplicación foliar (FF) no fue aprovechado por la planta, sino que se manifestó probablemente como un *consumo de lujo* (Massone *et al.*, 2018).

No se registraron diferencias significativas en el rendimiento entre las plantas de pepino que recibieron la aplicación foliar de extractos de algas y el testigo (Hasan y Hussein, 2020; Zamora *et al.*, 2021).

En el caso del efecto de la fertilización, el rendimiento del pepino en hidroponía aumentó conforme se incrementó la cantidad de fertilización recibida (Qu *et al.*, 2019); sin embargo, en el presente ensayo los tratamientos que recibieron mayor fertilización (FF y FF+A) presentaron un rendimiento similar al testigo, probablemente por la manifestación del fenómeno de *consumo de lujo*. Se informó que las plantas que recibieron tanto fertilización foliar como radicular obtuvieron mayor rendimiento (108.4 t/ha), en comparación con las que sólo recibieron la fertilización radicular (94.0 t/ha) (Maniutiu *et al.*, 2008), lo cual no ocurrió en la presente investigación.

Con relación al porcentaje de sólidos solubles totales, se halló que el valor obtenido para esta variable por el híbrido Modan fue de 3.60 °Brix (Ramírez-Vargas, 2019). Además, se registró para este híbrido en el invernadero de la EEAFBM un valor de 2.89 °Brix en época lluviosa (Cruz-Coronado y Monge-Pérez, 2020), y 3.40 °Brix en la época seca (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2017); los resultados hallados en el presente trabajo con el tratamiento A (3.44 °Brix) fueron similares a los obtenidos por estos últimos autores.

Los frutos de pepino de las plantas que recibieron la aplicación foliar de extractos de algas presentaron un porcentaje de sólidos solubles totales, similar al testigo (Sarhan *et al.*, 2011; Hasan y Hussein, 2020); lo mismo sucedió en el presente trabajo en las evaluaciones de 88 y 95 ddt.

El contenido de clorofila en las hojas representa una medición útil para evaluar la capacidad fotosintética y el estado fisiológico de las plantas (Zhang *et al.*, 2007). En pepino, la aplicación foliar de un extracto de algas produjo plantas con el mismo contenido de clorofila que el testigo (Sarhan *et al.*, 2011; Ahmed y Shalaby, 2012; Hassan *et al.*, 2021); lo mismo sucedió en la presente investigación.

Con respecto a la altura de la planta, se halló para el híbrido Modan un valor de 287.92 cm, hasta los 60 ddt (Ramírez-Vargas, 2019), el cual es muy inferior al hallado en el presente trabajo (682.60-741.80 cm), debido probablemente al mayor ciclo del cultivo (95 ddt). Se informó que la aplicación foliar de extractos de algas produjo plantas con altura mayor que el testigo: 92.33-125.70 cm *versus* 83.67-89.67 cm (Ahmed y Shalaby, 2012); y 170-195 cm *versus* 125 cm (Hasan y Hussein, 2020). De manera contraria, la aplicación foliar de un extracto de algas produjo plantas con la misma altura que el testigo (Hassan *et al.*, 2021); esto mismo sucedió en el presente ensayo, cuyos resultados disímiles podrían explicarse por diferencias en la intensidad lumínica, densidad de siembra, riego u otras condiciones ambientales.

Con relación con área foliar, se encontró que la aplicación foliar de un extracto de algas produjo plantas con mayor área foliar que el testigo: 167.5-189.9 cm² *versus* 157.3-162.1 cm² (Ahmed y Shalaby, 2012) y 299-306 cm² *versus* 275-288 cm² (Hassan *et al.*, 2021); por el contrario, en el presente ensayo el área foliar de las plantas que recibieron el extracto de algas fue similar al testigo.

Se informó que la respuesta de las plantas de pepino a la aplicación foliar de extractos de algas (resultado igual o superior al testigo) depende del tipo de extracto, la variedad de pepino, la dosis utilizada y el año de evaluación, tanto para el rendimiento (Ascencio, 2008; Sarhan *et al.*, 2011; Ahmed y Shalaby, 2012; Sarhan y Ismael, 2014; Pico, 2017) como para el número de frutos por planta (Ascencio, 2008; Sarhan *et al.*, 2011; Sarhan y Ismael, 2014; Pico, 2017), el peso del fruto (Sarhan y Ismael, 2014; Pico, 2017; Hasan y Hussein, 2020), la altura de la planta (Sarhan *et al.*, 2011; Pico, 2017) y el contenido de clorofila (Hasan y Hussein, 2020). Estos factores podrían explicar por qué no se obtuvieron diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento A en este trabajo, en algunas de las variables evaluadas.

Conclusiones

El uso del extracto de algas produjo el mayor rendimiento total y comercial por el aumento del número de frutos de primera calidad; y la aplicación de fertilizantes foliares (FF) no mejoró ni el rendimiento ni la calidad en el cultivo de pepino en invernadero bajo las condiciones en que se realizó el ensayo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica y de CONARE, 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

- Ahmed, Y.M. y Shalaby, E.A. (2012). Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 4(3): 235-240.
- Ali, O.; Ramsuhag, A. y Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. *Plants*. 10(531): 1-27.
- Ascencio, J.C. (2008). *Comparativo de tres fuentes y niveles de bioestimulantes vegetales en la producción de pepinillo (Cucumis sativus L.) manejado orgánicamente en Tingo María*. Tesis de licenciatura. Departamento Académico de Ciencias Agrarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Battacharyya, D.; Babgohari, M.Z.; Rathor, P. y Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196: 39-48.
- Chacón-Padilla, K. y Monge-Pérez, J.E. (2017). Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Pensamiento Actual*. 17(29): 39-50.
- Cruz-Coronado, J.A. y Monge-Pérez, J.E. (2020). Producción de siete genotipos de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados en ambiente protegido. *Tecnología en Marcha*. 33(2): 102-118.
- Elizondo-Cabalseta, E. y Monge-Pérez, J.E. (2019). Pimiento (*Capsicum annum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Revista Posgrado y Sociedad*. 17(2): 33-60.
- 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. *Biotechnología Vegetal*. 20(4): 257-282.
- Hasan, E.F. y Hussein, A.A. (2020). Effect of soil coverage with organic mulching and spraying with seaweed extract on some vegetative and productive traits of cucumber grown in greenhouses. *Diyala Agricultural Sciences Journal*. 12: 206-220.
- Hassan, S.M.; Ashour, M.; Sakai, N.; Zhang, L.; Hassanien, H.A.; Gaber, A. y Amarr, G. A. (2021). Impact of seaweed liquid extract biostimulant on growth, yield, and chemical composition of cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*. 11(320): 1-16.
- Maniutiu, D.; Sima, R. y Ficior, D. (2008). The influence of fructification managing and fertilization on medium-long fruit cucumber hybrids cultivated in greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 36(2): 76-79.
- Massone, D.S.; Bartoli, C.G. y Pastorino, M.J. (2018). Efecto de la fertilización con distintas concentraciones de nitrógeno y potasio en el crecimiento de plantines de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en vivero. *Bosque*. 39(3): 375-384.
- Monge-Pérez, J.E.; Cruz-Coronado, J.A. y Loría-Coto, M. (2021). Determinación de parámetros de selección para el rendimiento en pepino (*Cucumis sativus*) cultivado bajo invernadero. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 25(1): 43-55.
- Mora, N.; Campos, H.; Fallas, J.; Morales, S.; Blanco, M. y Alfaro, J. (2007). *Caracterización de la agrocadena pepino holandés*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 19 pp.
- Pico, K.T. (2017). *Fertilización foliar a base de algas marinas en el cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) en época lluviosa en la zona de Quevedo*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Qu, F.; Jiang, J.J.; Xu, J.W.; Liu, T. y Hu, X.H. (2019). Drip irrigation and fertilization improve yield, uptake of nitrogen, and water-nitrogen use efficiency in cucumbers grown in substrate bags. *Plant, Soil and Environment*. 65(6): 328-335.

- Ramírez-Vargas, C. (2019). Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Tecnología en Marcha*. 32(1): 107-117.
- Sarhan, T.Z.; Ali, S.T. y Rasheed, S.M. (2011). Effect of bread yeast application and seaweed extract on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plant growth, yield and fruit quality. *Mesopotamia Journal of Agriculture*. 39(2): 26-34.
- 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.
- Shukla, P.P.; Mantin, E.G.; Adil, M.; Bajpai, S.; Critchley, A.T. y Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*. 10(655): 1-22.
- Toman, S.S.; Al-Taey, D.K.; Al-Tawaha, A.R.; Sirajuddin, S.N.; Rasyid, I. y Hassan, A.A. (2020). *Effect of foliar application and mineral fertilizer on growth parameters and content auxins, GA and CK in cucumber leaves*. The 2nd International Conference of Animal Science and Technology, Makassar, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 492, pp. 1-7. doi:10.1088/1755-1315/492/1/012009
- Yu, B.; Ming, F.; Liang, Y.; Wang, Y.; Gan, Y.; Qiu, Z.; Yan, S. y Cao, B. (2022). Heat stress resistance mechanisms of two cucumber varieties from different regions. *International Journal of Molecular Sciences*. 23: 1-23.
- Zamora, S.; Loa, J.L.; Beltrán, F.A.; Loya, J.G.; Ruiz, F.H. y Palacios, A. (2021). Extrato de algas como biofertilizante na qualidade de pepino (*Cucumis sativus*). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3): 3771-3776.
- Zhang, Y.; Chen, J. y Thomas, S. (2007). Retrieving seasonal variation in chlorophyll content of overstory and understory sugar maple leaves from leaf level hyperspectral data. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 33(5): 406-415.
- Zhu, J.; Tremblay, N. y Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*. 92(4): 645-648.

Recepción: 15 de junio de 2022

Arbitraje: 15 de julio de 2022

Dictamen: 30 de agosto 2022

Aceptado: 19 de octubre 2022