

Aplicación foliar de extracto de algas y fertilizantes en pimiento (*Capsicum annuum*)

Werner Salazar-Salazar¹, José Eladio Monge-Pérez² & Michelle Loría-Coto³

1. Hortitec, Palmares, Alajuela, Costa Rica; werner@hortitec-cr.com
2. Universidad de Costa Rica, Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Turrialba, Cartago, Costa Rica; jose.mongeperez@ucr.ac.cr
3. Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Montes de Oca, Mercedes, San José, Costa Rica; michelle_loria@yahoo.com

Recibido 23-VI-2021 • Corregido 12-IX-2022 • Aceptado 16-IX-2022

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v14i1.4299>

ABSTRACT. “Foliar spray of seaweed extract and fertilizers on sweet pepper (*Capsicum annuum*)”. **Introduction:** Seaweed extracts have biostimulant activities that improve growth and yield in many crops, and can improve mineral absorption. **Objective:** to evaluate the effects of foliar spray of seaweed extract and fertilizers (treatments: seaweed extract (SE); fertilizers (FF); seaweed extract+fertilizers (SE+FF); and control-C) on the yield and quality of sweet pepper grown under greenhouse conditions. **Methods:** The crop was managed in a coconut fiber substrate and with fertigation. Evaluated variables were: number of fruits per plant, fruit weight (g), yield (ton/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). Treatments were applied from 14 days after transplant (ddt), and were carried out weekly until the end of the trial (154 ddt). **Results:** Treatments SE and SE+FF produced a higher number of commercial and total fruits per plant, as well as higher commercial and total yields when compared to treatments FF and C. The SE+FF treatment produced a greater fruit weight, compared to treatment C, both at a commercial and total level. No significant differences between treatments were observed for the following variables: leaf area, leaf dry weight, leaf specific weight, plant height and stem diameter. **Conclusion:** The use of the seaweed extract (SE) produced the highest total and commercial yield at the lowest cost, and thus its utilization is recommended under the trial conditions; on the other hand, the application of foliar fertilizers (FF) under the same conditions did not improve neither the yield of sweet peppers nor their quality.

Keywords: stress, physiology, nutrition, production, hydroponics

RESUMEN. Introducción: Los extractos de algas marinas tienen actividad bioestimulante que mejoran el crecimiento y rendimiento en muchos cultivos, y pueden mejorar la absorción de minerales. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la aplicación foliar de extracto de algas y fertilizantes (tratamientos: extracto de algas (A); fertilizantes (FF); extracto de algas+fertilizantes (A+FF); y testigo-T) sobre el rendimiento y calidad del pimiento cultivado bajo invernadero. **Métodos:** El cultivo se manejó en sustrato de fibra de coco y con fertirrigación. Las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, peso del fruto (g), rendimiento (ton/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). Los tratamientos se aplicaron a partir de los 14 días después del trasplante (ddt), y se realizaron en forma semanal hasta el final del ensayo (154 ddt). **Resultados:** Los tratamientos A y A+FF produjeron una cantidad superior de frutos comerciales y totales por planta, y un rendimiento comercial y total superior, en comparación con FF y T. El tratamiento A+FF produjo frutos con mayor peso, en comparación con T, tanto a nivel comercial como total. No se hallaron diferencias significativas entre tratamientos para las siguientes variables: área foliar, peso seco foliar, peso específico foliar, altura de planta y diámetro de tallo. **Conclusión:** El uso del extracto de algas (A) produjo el mayor rendimiento total y comercial al menor costo, por lo que se recomienda su uso; además, la aplicación de fertilizantes foliares (FF) no mejoró ni el rendimiento ni la calidad en el cultivo de pimiento, bajo las condiciones del ensayo.

Palabras clave: estrés, fisiología, nutrición, producción, hidroponía

El pimiento, *Capsicum annuum* L., pertenece a la familia Solanaceae, es una especie originaria de las zonas tropicales y subtropicales de América, y se cultiva alrededor del mundo por su sabor y color (Deepika & Tiwari, 2021).

Los extractos de algas marinas se usan en agricultura por sus componentes bioactivos únicos y sus efectos; tienen propiedades fitoestimulantes que provocan un aumento en el crecimiento vegetal y el rendimiento de muchos cultivos (Ali et al., 2021). Sus componentes producen respuestas de defensa en las plantas que contribuye a la resistencia de plagas y enfermedades, y a la tolerancia al estrés abiótico causado por sequía, salinidad y temperaturas extremas (Battacharyya et al., 2015; Pohl et al., 2019; Ali et al., 2021). Entre los componentes de los extractos de algas marinas están: carbohidratos, aminoácidos, fitohormonas, proteínas y osmoprotectores, entre otros (Battacharyya et al., 2015; Espinosa-Antón et al., 2020; Ali et al., 2021); su uso en los cultivos produce una mejora en la absorción de minerales, el crecimiento, la fotosíntesis, el rendimiento, el sistema radical, la floración, la calidad del fruto, el sabor, y la vida poscosecha de los productos (Battacharyya et al., 2015; Pohl et al., 2019; Ali et al., 2021).

Una de las algas marinas más utilizadas a nivel comercial es *Ascophyllum nodosum*; los componentes inorgánicos de sus extractos incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio y azufre (Battacharyya et al., 2015).

La aplicación de extractos de *A. nodosum* en pimiento mejora el crecimiento, el rendimiento y la calidad, así como la tolerancia al estrés por salinidad, y aumenta la tolerancia a enfermedades como *Alternaria solani*, *Phytophthora capsici*, y *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Shukla et al., 2019; Ali et al., 2021).

Por otra parte, la calidad y producción de cultivos en ambientes protegidos se ven limitadas por factores relacionados al suministro de insumos y manejo de la plantación, dentro de los cuales se destaca la fertilización (Segura et al., 2000; Hernández et al., 2006); este factor incluye el fertirriego, y la aplicación a nivel foliar cuando es necesaria para complementar la fertilización radicular (Giacconi & Escaff, 2004). La fertilización foliar debe ser considerada solo como una aplicación suplementaria durante las etapas críticas de crecimiento de la planta, y durante etapas con malas condiciones ambientales (Romheld & El-Fouly, 2003).

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 pimiento bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), 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 una precipitación anual promedio de 1 940mm, y una temperatura anual promedio de 22°C.

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero tipo multicapilla, con techo de plástico y ventilación cenital automática, y con un sistema de riego por goteo para proporcionar a las plantas el fertirriego (tabla 1). Se usó la metodología de manejo integrado de plagas descrita por otros autores (Elizondo-Cabalceta & Monge-Pérez, 2019).

Se utilizó el genotipo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) Nathalie F-1, cuyos frutos son de forma cónica y de color rojo a la madurez.

El trasplante se realizó el 10 de diciembre de 2014, cuando las plántulas tenían 4-5 hojas verdaderas. Las plántulas se establecieron en bolsas de crecimiento rellenas con fibra de coco, de 18 litros de volumen y 1m de longitud. Las bolsas se colocaron a 1,54m de distancia entre surcos, y se sembraron cuatro plantas por bolsa, con una distancia entre plantas de 25cm, para una densidad de siembra de 2,60 plantas/m².



El sistema de podas fue mínimo (se eliminaron los brotes y hojas bajo la primera bifurcación), dejando la planta a libre crecimiento y amarrando sus ramas al mecate de entutorado.

TABLA 1
Programa de fertiirrigación

Etapa fenológica del cultivo	Concentración del nutriente (mg/l)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	Mo	B
Trasplante a PF-1	110	53	170	150	40	50	0,16	2,9	0,3	0,6	0,09	0,8
PF-1 a PF-2	125	53	210	160	40	50	0,16	2,9	0,3	0,6	0,09	0,8
PF-2 a PF-3	150	53	240	165	40	50	0,16	2,9	0,3	0,6	0,09	0,8
PF-3 a PF-5	161	53	265	175	50	50	0,16	2,9	0,3	0,6	0,09	0,8
PF-5 en adelante	172,5	53	290	175	55	50	0,16	2,9	0,3	0,6	0,09	0,8

Nota: PF: piso floral.

Se evaluaron cuatro tratamientos a nivel foliar (Tabla 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.

TABLA 2
Tratamientos evaluados

Número	Tratamiento	Dosis
1	Algas (A)	1 L/ha
2	Fertilizante foliar (FF)	(ver Tabla 3)
3	A+FF	1 L/ha+(ver Tabla 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 (Tabla 3). En el tratamiento 3 se aplicaron los tratamientos A y FF de manera conjunta, en la misma aplicación. En el tratamiento 4 (T) se aplicó agua. Las aplicaciones se realizaron con una bomba de espalda manual marca Carpi de 18 litros, con una boquilla de cono hueco TX8001.

TABLA 3
Fertilización foliar utilizada

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	X						
Nutri-Leaf (20-20-20)	5,5					X	X	X			
Crop-Finisher (4-2-41)	5,5								X	X	

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

La cosecha inició el 26 de febrero de 2015 (78 ddt), y se realizó una vez a la semana, hasta el 13 de mayo de 2015 (154 ddt), recolectando los frutos que presentaban coloraciones rojizas. Los frutos se clasificaron según categorías de calidad (Tabla 4).

TABLA 4
Categorías de calidad del pimiento

Característica	Categoría de calidad			
	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Longitud del fruto (cm)	Mayor a 14	Entre 10 y 14	Entre 6 y 9,9	Cualquiera
Deformaciones	Leves	Leves	Leves	Graves
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 del fruto (g): se determinó realizando una sumatoria del peso de todos los frutos registrados durante todas las cosechas, y luego se dividió entre el número de frutos totales. Se utilizó una balanza de 20000 ± 1 g de capacidad, marca UWE, modelo HGM-20K.
3. Rendimiento (ton/ha): se calculó a partir del peso de los frutos cosechados y de la densidad de siembra, para cada categoría de calidad. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso de la producción de las categorías de primera, segunda y tercera calidad; el rendimiento total se obtuvo sumando el peso obtenido para todas las categorías de calidad.
4. Porcentaje de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix): se evaluó esta característica en cinco frutos por cada tratamiento, en tres fechas diferentes. 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 del deshoje) 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 deshoja, y al terminar el ciclo de producción se midió el área de todas las hojas presentes, y se obtuvo el total por planta; se hizo en una planta por parcela. 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 deshoja, y al terminar el ciclo de producción se midió 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 $1000,00 \pm 0,01$ g de capacidad. Las hojas se secaron por cinco días a $60-70^{\circ}\text{C}$.
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 de tallo (mm): se midió en la base del tallo, entre el sustrato y los cotiledones a todas las plantas, al final del ciclo. Se utilizó un calibrador electrónico, marca EZCal, modelo IP34, con una capacidad de $154,5 \pm 0,1$ mm.

Se registraron los datos de temperatura y humedad relativa (HR) que prevalecieron dentro del invernadero durante la ejecución del experimento, mediante sensores y un registrador de datos marca Onset, modelo HOB0 U30.

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 planta fue considerada como borde, 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

Durante el período en que se desarrolló el ensayo, la temperatura diurna promedio dentro del invernadero se ubicó en 29,6°C (con máximas de 37,0°C), y la temperatura nocturna promedio fue de 21,1°C (con mínimas de 19,2°C). La HR diurna promedio fue de 50,5% (con mínimas de 33,1%), y la HR nocturna promedio fue de 75,3% (con máximas de 82,4%).

Los tratamientos A y A+FF produjeron una cantidad significativamente superior de frutos comerciales y totales por planta, en comparación con FF y T (Tabla 5). El tratamiento A produjo una mayor cantidad de frutos de primera calidad, en comparación con T. Los tratamientos A y A+FF también obtuvieron una mayor cantidad de frutos de segunda calidad, en comparación con T. No se hallaron diferencias entre tratamientos para el número de frutos de calidad tercera y rechazo.

TABLA 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	35,94 a	30,33 a	7,13 a	13,43 a	9,77 a	5,60 a
A	41,73 b	35,20 b	10,30 b	16,87 bc	8,03 a	6,53 a
FF	35,50 a	29,57 a	8,33 ab	14,27 ab	6,97 a	5,93 a
A+FF	40,53 b	34,07 b	8,40 ab	18,20 c	7,47 a	6,47 a

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 prueba LSD Fisher.

El tratamiento A+FF produjo frutos con un mayor peso, en comparación con T, tanto a nivel comercial como total (Tabla 6). En los frutos de calidad segunda, el peso fue mayor en el tratamiento A+FF, en comparación con los demás tratamientos. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para el peso del fruto de calidades primera, tercera y rechazo.

TABLA 6

Peso del fruto, según categoría de calidad

Tratamiento	Peso del fruto (g), según calidad					
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
T	99,17 a	105,49 a	150,94 a	110,52 a	66,68 a	64,98 a
A	106,12 ab	113,20 ab	148,60 a	110,86 a	72,52 a	67,48 a
FF	104,88 ab	111,68 ab	149,69 a	111,27 a	68,08 a	71,24 a
A+FF	110,53 b	116,83 b	146,05 a	120,49 b	74,67 a	77,14 a

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 prueba LSD Fisher.

Los tratamientos A y A+FF produjeron un rendimiento comercial y total significativamente superior, en comparación con FF y T (Tabla 7). El tratamiento A produjo un mayor rendimiento de

primera calidad, en comparación con T. Los tratamientos A y A+FF también produjeron un mayor rendimiento de segunda calidad, en comparación con T. No se hallaron diferencias entre tratamientos para el rendimiento de calidad tercera y rechazo.

TABLA 7
Rendimiento, según categoría de calidad

Tratamiento	Rendimiento hasta los 154 ddt (ton/ha), según calidad					
	Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
T	92,68 a	83,24 a	27,74 a	38,82 a	16,68 a	9,40 a
A	114,72 b	103,36 b	39,60 b	48,56 bc	15,20 a	11,32 a
FF	96,81 a	85,82 a	32,22 ab	41,30 ab	12,30 a	11,00 a
A+FF	115,86 b	103,16 b	31,94 ab	56,80 c	14,42 a	12,70 a

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 prueba LSD Fisher.

Para el porcentaje de sólidos solubles totales, solamente se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la primera fecha (11 de marzo); el tratamiento A obtuvo el mayor valor, por encima de los demás tratamientos; y el tratamiento FF obtuvo el menor valor, por debajo de los demás tratamientos (Tabla 8). En las otras fechas no se encontraron diferencias entre tratamientos. A nivel del valor promedio de las tres fechas, el tratamiento A mostró un valor superior, en comparación con los tratamientos FF y A+FF, pero no fue diferente de T.

TABLA 8
Porcentaje de sólidos solubles totales del fruto

Tratamiento	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)			
	Fecha de evaluación			Promedio
	11-3-15	22-4-15	29-4-15	
T	7,20 b	9,28 a	9,18 a	8,55 bc
A	7,44 c	9,28 a	9,16 a	8,63 c
FF	7,00 a	9,24 a	9,12 a	8,45 a
A+FF	7,24 b	9,26 a	9,08 a	8,53 ab

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 prueba LSD Fisher.

Para el contenido de clorofila, solamente se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en dos de las fechas (Tabla 9). El 18 de diciembre el tratamiento A+FF presentó un mayor contenido de clorofila, en relación con T. El 13 de mayo el tratamiento FF mostró un mayor contenido de clorofila en relación con T; esto mismo se obtuvo con el valor promedio de todas las evaluaciones. En las demás fechas no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

En el caso del área foliar, peso seco foliar, peso específico foliar, altura de planta y diámetro de tallo, no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 10).

TABLA 9
Contenido de clorofila

Tratamiento	Contenido de clorofila de las hojas (atLEAF)						Promedio
	Fecha de evaluación						
	18-12-14	13-1-15	10-2-15	11-3-15	29-4-15	13-5-15	
T	37,21 a	51,90 a	59,58 a	57,82 a	61,80 a	53,86 a	53,69 a
A	38,34 ab	51,31 a	59,52 a	56,04 a	61,36 a	58,13 ab	54,12 ab
FF	38,62 ab	51,75 a	60,70 a	58,42 a	61,55 a	59,27 b	55,05 b
A+FF	39,29 b	51,81 a	60,39 a	58,28 a	61,65 a	56,53 ab	54,66 ab

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 prueba LSD Fisher.

TABLA 10
Otras variables evaluadas

Tratamiento	Área foliar (cm ²)	Peso seco foliar (g)	Peso específico foliar (mg/cm ²)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (mm)
T	21218,93 a	132,35 a	6,26 a	253,60 a	18,07 a
A	23462,15 a	153,57 a	6,52 a	254,20 a	17,82 a
FF	22682,80 a	160,46 a	7,06 a	255,00 a	18,92 a
A+FF	23251,57 a	149,62 a	6,43 a	252,40 a	18,59 a

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 prueba LSD Fisher.

DISCUSIÓN

Según López-López & Benavides-León (2014), los valores climáticos óptimos para pimiento en invernadero son: 65-70% de HR; 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. Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto (2017) indican que, en pimiento, el umbral mínimo de temperatura es 13°C, el rango óptimo es 20-24°C, y el umbral máximo es 30°C. Jiménez et al. (2007) indican que la temperatura ideal para el desarrollo del pimiento es de 17-30°C, con una mínima tolerable de 10°C y una máxima de 35°C, y la HR ideal se encuentra entre 50-70%. Por lo tanto, en este ensayo se presentaron dentro del invernadero temperaturas que superaron la temperatura máxima y el umbral máximo; y también se presentaron valores de HR diurna promedio y mínima que fueron inferiores a la HR óptima; ambos factores probablemente causaron un estrés de origen abiótico sobre las plantas de pimiento.

En relación con el número de frutos por planta, Campos (2009) obtuvo para el pimiento Nathalie cultivado en invernadero 28,7-39,2 frutos totales; en el presente trabajo se hallaron resultados similares. Por otra parte, Chavarría (2013) obtuvo 15,03-15,26 frutos totales, mientras que Rojas y Paniagua (2015) obtuvieron un total de 45,25 frutos; estas diferencias se pueden deber a las diferentes condiciones ambientales en cada sitio de evaluación.

Al igual que en el presente ensayo, otros investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum* y otras) en pimiento provocó un aumento significativo en el número de frutos totales por planta, en comparación con T (Shabana et al., 2015; Hussein et al., 2019; Pohl et al., 2019; Deepika & Tiwari, 2021). Sin embargo, en otros casos no hubo diferencias para esta

variable entre el tratamiento con extracto de algas y T (Arthur et al., 2003; Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade & Garcés, 2019; Coello, 2020).

Con respecto al peso del fruto, Campos (2009) obtuvo para el pimiento Nathalie cultivado en invernadero un valor de 104,08-115,10g, mientras que Rojas y Paniagua (2015) obtuvieron 104,2g; en el presente trabajo se hallaron resultados similares.

El mayor peso del fruto (total y comercial) obtenido en el tratamiento A+FF con respecto a T puede explicarse por un efecto sinérgico entre ambos productos, lo que pudo haber provocado un mejor llenado del fruto (Battacharyya et al., 2015).

Otros investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum*, y otras) en pimiento, produjo un peso del fruto que fue igual al alcanzado por T (Arthur et al., 2003; Andrade & Garcés, 2019; Coello, 2020; Deepika & Tiwari, 2021); esto mismo sucedió en el presente ensayo para todas las categorías de calidad. En forma contraria, otros autores informaron que la aplicación foliar de extractos de algas en pimiento aumentó en forma significativa el peso del fruto, en comparación con T (Hussein et al., 2019; Pohl et al., 2019).

En relación con el rendimiento, se ha informado que el pimiento Nathalie cultivado en invernadero produjo 36,94-78,42ton/ha (Campos, 2009; Chavarría, 2013; Rojas & Paniagua, 2015); en el presente ensayo se obtuvo un rendimiento superior, probablemente debido a las diferencias en las condiciones ambientales como luz, temperatura, humedad relativa, entre otros.

Varios investigadores han informado que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum*, y otras), provocó un aumento en el rendimiento (total y comercial) de pimiento, en comparación con T (Battacharyya et al., 2015; Shabana et al., 2015; Ali et al., 2019; Hussein et al., 2019; Maraie et al., 2019; Pohl et al., 2019; Ali et al., 2021; Deepika & Tiwari, 2021); en el presente ensayo se obtuvo un resultado similar. Sin embargo, otros autores no hallaron diferencias para esta variable entre las plantas que recibieron el extracto de algas y T (Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade & Garcés, 2019; Coello, 2020).

Las altas temperaturas durante la floración del pimiento provocan daños en la flor y disminución en el cuajado de frutos; con temperaturas diurnas mayores a 34°C, y temperaturas nocturnas mayores a 21°C, aumenta el aborto de yemas florales y se reduce el peso del fruto (Karapanos et al., 2008). En el presente ensayo se presentaron temperaturas diurnas de hasta 37,0°C, lo que pudo haber causado estrés térmico, el cual aparentemente logró ser contrarrestado por la aplicación del extracto de algas, lo que explicaría que los tratamientos A y A+FF produjeron un mayor rendimiento que T.

Por otra parte, la HR afecta la polinización y el cuajado de frutos en pimiento; para lograr un aumento en el cuajado de frutos y el rendimiento, es deseable que la HR 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 HR diurna registró valores hasta de 33,1%, mientras que la HR nocturna obtuvo valores hasta de 82,4%, lo que indica que estas condiciones no fueron las óptimas para el cultivo de pimiento, lo que pudo haber afectado la fisiología de la planta; este estrés pudo haber sido contrarrestado en el presente ensayo por medio de la aplicación del extracto de algas, por lo cual se logró obtener un mayor rendimiento con los tratamientos A y A+FF con respecto a T.

Dado que no hubo diferencias significativas en rendimiento entre A y A+FF, y que ambos tratamientos obtuvieron un mayor rendimiento total y comercial con respecto a T, se evidencia que el uso de fertilizantes foliares resulta innecesario, pues en el tratamiento A+FF se aumentan los costos sin que exista un retorno económico; aparentemente, la fertirrigación suplió satisfactoriamente las necesidades nutricionales de la planta. Esta idea se refuerza al comprobar que, en la gran mayoría de variables evaluadas, el tratamiento FF obtuvo un resultado estadísticamente similar a T, por lo que el aporte adicional de nitrógeno, fósforo y potasio del tratamiento FF no se vio reflejado en un mayor desarrollo, crecimiento y producción de las plantas.

Con respecto al porcentaje de sólidos solubles totales, varios investigadores informaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum*, y otras), provocó un aumento significativo en esta variable en los frutos de pimiento, en comparación con T (Shabana et al., 2015; Pohl et al., 2019); lo mismo sucedió en el presente ensayo para la evaluación del 11 de marzo.

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). Varios investigadores informaron que la aplicación de extractos de *A. nodosum* y otras algas aumentó el contenido de clorofila de las hojas en pimiento (Battacharyya et al., 2015; Pohl et al., 2019; Ali et al., 2021); en forma contraria, en el presente trabajo el contenido de clorofila de las plantas tratadas con extractos de algas fue similar a T, en todas las fechas de evaluación.

Con respecto a la altura de la planta, Campos (2009) obtuvo para el pimiento Nathalie cultivado en invernadero 156,66-184,03cm, mientras que Rojas y Paniagua (2015) obtuvieron 227,39cm; en la presente investigación se hallaron valores superiores a los informados por esos investigadores, probablemente debido a las diferencias en las condiciones de crecimiento del cultivo en los diferentes sitios de experimentación.

Varios autores obtuvieron una mayor altura de planta en comparación con T, al aplicar extractos de algas (*A. nodosum*, y otras) vía foliar en pimiento (Marhoon & Abbas, 2015; Shabana et al., 2015; Ali et al., 2019; Maraei et al., 2019; Shahan et al., 2019; Ali et al., 2021; Ashour et al., 2021). De manera contraria, en otras investigaciones no se encontraron diferencias en esta variable entre las plantas que recibieron el extracto de algas y T (Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade & Garcés, 2019; Coello, 2020), tal y como sucedió en el presente trabajo.

En relación con el diámetro del tallo, Campos (2009) obtuvo para el pimiento Nathalie cultivado en invernadero 20,1-23,2mm; en el presente trabajo se hallaron resultados inferiores, probablemente debido a las diferencias en las variables climáticas entre los sitios de evaluación.

En otras investigaciones, la aplicación foliar de extracto de *A. nodosum* en pimiento resultó en un diámetro de tallo similar a T (Anchundia, 2017; Coello, 2020), al igual que lo hallado en el presente trabajo.

Pohl et al. (2019) informaron que la aplicación de extractos de algas en pimiento provocó el aumento en el diámetro del tallo, el peso de las hojas y en el área foliar; sin embargo, en la presente investigación no hubo diferencias entre los tratamientos A y T para estas variables.

Varios investigadores han encontrado que, en el cultivo de pimiento, con la aplicación de extractos de algas se obtiene un resultado superior o igual a T, según la dosis del extracto y el año de evaluación, para las siguientes variables: número de frutos por planta (Shahan et al., 2019), peso del fruto (Shahan et al., 2019), rendimiento (Yildiztekin et al., 2018; Shahan et al., 2019; Ashour et al., 2021), y altura de la planta (Hussein et al., 2019); estos factores pudieron haber incidido en los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Se concluye que el uso del extracto de algas (A) produjo el mayor rendimiento total y comercial al menor costo, por lo que se recomienda su uso; además, que la aplicación de fertilizantes foliares (FF) no mejoró ni el rendimiento ni la calidad en el cultivo de pimiento en invernadero, bajo las condiciones del ensayo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica y de CONARE, para la realización de este trabajo, y la colaboración de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: W.S.S. y J.E.M.P.: Diseño del estudio, recolección y análisis de datos. M.L.C.: Análisis de datos. Todos los coautores: preparación y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2019). Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *Plos One*, *14*(5), e0216710.
- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. *Plants*, *10*(531), 1-27.
- Anchundia, A. A. (2017). *Comportamiento agronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) por la aplicación de dosis de algas marinas en la zona de Vinces-Ecuador*. [Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/23475>
- Andrade, O., & Garcés, A. (2019). Respuesta productiva del *Capsicum annum* 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 annum L.) a la aplicación de bioestimulantes en la parroquia El Progreso, cantón Pasaje*. [Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1065>
- Arthur, G. D., Stirk, W. A., & Van Staden, J. (2003). Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annum*. *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., & 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 annum*). *Plants*, *10*(1045), 1-13.
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, 39-48.
- Campos, M. (2009). *Efecto de la inoculación de sustratos con Trichoderma spp. sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (Capsicum annum Linn.) bajo ambiente protegido*. [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2896>
- Chavarría, A. E. (2013). *Eficiencia de tres dosis de fertilizante de las fuentes hidrosoluble, granulada convencional y liberación lenta en la producción de chile dulce (Capsicum annum) cv. Nathalie en invernadero, en Cartago, Costa Rica*. [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, *28*(1), 237-253.
- Coello, H. E. (2020). *Efecto de la aplicación edáfica y foliar de extractos de algas marinas en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L.)*. [Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://bit.ly/3stk0NG>

- Deepika, & Tiwari, S. P. (2021). Effect of different Biozyme concentration for maximum yield potential in *Capsicum annum* L. *International Journal of Chemical Studies*, 9(2), 432-436.
- Elizondo-Cabalaceta, E., & 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., & González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- Giacconi, V., & Escaff, M. (2004). *Cultivo de hortalizas*. Editorial Universitaria S. A.
- Hernández, M. I., Salgado, J. M., & Chailloux, M. (2006). El cultivo protegido de las hortalizas: medio ambiente y sociedad. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 9(30), 25-31.
- Hussein, H. A., Jawad, D. H., & 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.
- Jiménez, V., Campos, H., Ramírez, J., Marín, S., & Barrantes, L. (2007). *Agrocadena regional: cultivo chile dulce*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4281.pdf>
- Karapanos, I. C., Mahmood, S., & 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., & 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., & 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.
- Marhoon, I. A., & Abbas, M. K. (2015). Effect of foliar application of seaweed extract and amino acids on some vegetative and anatomical characters of two sweet pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 1(1), 35-44.
- Pohl, A., Kalisz, A., & Sekara, A. (2019). Seaweed extracts' multifactorial action: influence on physiological and biochemical status of Solanaceae plants. *Acta Agrobotanica*, 72(1), 1758.
- Rojas, J. J., & Paniagua, F. (2015). *Comportamiento agronómico de Capsicum annum L., Lycopersicon esculentum M. y Cucumis melo L. bajo cultivo protegido hidropónico utilizando la solución universal de Steiner*. [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6413?show=full>
- Romheld, V., & El-Fouly, M. (2003). Aplicación foliar de nutrientes: retos y límites en la producción agrícola. *Informaciones Agronómicas*, 48, 10-14.
- Segura, M. L., Medrano, E., & Casado, E. (2000). Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada. *Horticultura*, 146, 16-24.
- Shabana, A. I., Shafeek, M. R., Ahmed, H. I., & 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., Alkharpotly, A. A., Radwan, F. I., & 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.
- Shukla, P. P., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & 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.

- Yildiztekin, M., Tuna, A. L., & 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.
- Zhang, Y., Chen, J. M., & Thomas, S. C. (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., & Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(4): 645-648.