

Evaluación de Algamix® y dos porcentajes de drenaje en chile dulce (*Capsicum annuum*) cultivado en invernadero

Evaluation of Algamix® and two drainage rates in sweet pepper (*Capsicum annuum*) grown under greenhouse conditions

José E. Monge Pérez
Universidad de Costa Rica
Turrialba, Costa Rica
melonescr@yahoo.com.mx

Julio C. Loáiciga Arias
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Liberia, Costa Rica
julio.loaicigaa@gmail.com

Michelle Loría Coto
Universidad Estatal a Distancia
Montes de Oca, Costa Rica
michelle_loria@yahoo.com

RESUMEN: La aplicación de bioestimulantes y el uso de diversos porcentajes de drenaje pueden afectar la producción en la agricultura protegida. Se evaluó el efecto de la aplicación del bioestimulante Algamix® (vía foliar, vía radicular, y testigo) y dos porcentajes de drenaje (10% y 30%) sobre el rendimiento y la calidad del chile dulce cv. Nathalie cultivado bajo invernadero. Las variables evaluadas fueron: altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), número de frutos por planta, peso del fruto (g), rendimiento (ton/ha), y porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix). La aplicación del bioestimulante no produjo diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables, excepto en el rendimiento de frutos de tercera calidad, donde las plantas que recibieron la aplicación foliar del bioestimulante produjeron un menor rendimiento, en relación con el testigo. En comparación con las plantas que tuvieron un 30% de drenaje, las plantas con un 10% de drenaje presentaron: menor cantidad de frutos por planta y menor rendimiento, en el caso de primera calidad; mayor cantidad de frutos por planta y mayor rendimiento, en el caso de tercera calidad; menor peso del fruto (total y de primera calidad); y menor porcentaje de sólidos solubles totales del fruto. La aplicación del bioestimulante no mejoró el rendimiento ni la calidad del chile dulce, por lo que no se recomienda su uso, bajo las condiciones en que se realizó el estudio. Se recomienda el uso de un drenaje del 30% en chile dulce cultivado en invernadero, dado que produjo el mayor rendimiento de frutos de primera calidad.

PALABRAS CLAVE: producción, extracto de algas marinas, fracción de lavado, hidroponía.

ABSTRACT: The application of biostimulants and the use of various percentages of drainage can affect production in protected agriculture. Researchers evaluated the effect of applying the biostimulant Algamix® (foliar, root, and control treatments) and two drainage rates (10% and 30%) on the yield and quality of sweet pepper cv. Nathalie grown under greenhouse conditions. Evaluated variables were: plant height (cm), stem diameter (mm), number of fruits per plant, fruit weight (g), yield (ton/ha), and percentage of total soluble solids (°Brix). The application of biostimulant did not produce statistically significant differences in any of the variables, except in the yield of third-quality fruits, where the plants that received the foliar application of biostimulant produced a lower yield, compared to the control. Compared to plants with a 30% drainage rate, plants with a 10% rate showed: a lower number of fruits per plant and a lower yield, in the case of first quality; a greater quantity of fruits per plant and a higher yield, in the case of third-quality; a lower weight of the fruit (total and first quality); and a lower percentage of total soluble solids in the fruit. The application of biostimulant improved neither the yield nor the quality of sweet pepper, for which its use is not recommended under the conditions in which the study was carried out. The use of a 30% drainage rate is recommended in greenhouse-grown sweet pepper, as it produced the highest yield of first-quality fruit.

KEYWORDS: production, seaweed extract, leaching fraction, hydroponics.

Recibido: 2-07-22 | Aceptado: 3-09-22

CÓMO CITAR (APA): Monge Pérez, J.E., Loáiciga Arias, J.C., Loría Coto, M. (2023). Evaluación de Algamix® y dos porcentajes de drenaje en chile dulce (*Capsicum annuum*) cultivado en invernadero. InterSedes, 24(50), 257-281. DOI 10.15517/isucr.v24i50.51681

Publicado por la Editorial Sede del Pacífico, Universidad de Costa Rica

Introducción

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza 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, cocido como hortaliza, en conserva o procesado (Roy *et al.*, 2019).

El uso de productos a base de extractos de algas marinas ha ganado importancia en los sistemas de producción agrícola debido a sus componentes bioactivos, los cuales poseen propiedades estimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal que provocan un aumento en el crecimiento y en los parámetros de rendimientos de muchos cultivos. Estos extractos promueven respuestas de defensa en las plantas que contribuyen a la resistencia a plagas y enfermedades, y a la tolerancia del estrés abiótico causado por sequía, salinidad y frío (Battacharyya *et al.*, 2015; Pohl *et al.*, 2019; Ali *et al.*, 2021). Entre los componentes de los extractos de algas marinas están: carbohidratos, aminoácidos, reguladores del crecimiento, proteínas y osmoprotectores. Su uso en los cultivos produce una mejora en la absorción de minerales, el crecimiento del sistema radical, la intensidad de la floración y la calidad del fruto (Battacharyya *et al.*, 2015; Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2021). El alga marina *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis es una de las más usadas en agricultura y sus extractos incluyen componentes inorgánicos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio y azufre (Battacharyya *et al.*, 2015).

En el cultivo de chile dulce, los mecanismos básicos de acción de los extractos de algas incluyen la aceleración de los procesos de crecimiento, absorción de nutrientes y fotosíntesis. Estos extractos pueden 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). Se ha documentado que la aplicación de extractos de *A. nodosum* en chile dulce mejora el crecimiento, el rendimiento y la calidad, la tolerancia al estrés por salinidad, y la tolerancia a enferme-

dades ocasionadas por *Alternaria solani*, *Phytophthora capsici*, y *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Shukla *et al.*, 2019; Ali *et al.*, 2021).

Los extractos líquidos de algas se pueden aplicar tanto al suelo como también al follaje de las plantas, en una amplia variedad de hortalizas, frutas y flores. La eficacia de los extractos de algas depende, entre otros aspectos, de la fase de crecimiento de la planta en la que se aplique; el mejor momento es cuando la planta está en crecimiento vegetativo, antes del inicio de la floración, con el fin de estimular el cuajado y maduración del fruto (Battacharyya *et al.*, 2015; Pohl *et al.*, 2019).

En la producción de hortalizas en ambiente protegido se maneja un sistema de riego con drenaje, por lo que, cuando se aportan riegos con la solución nutritiva, se deja drenar normalmente un 20-30% del volumen total aplicado (Baixauli y Aguilar, 2002; Urrestarazu, 2015; Snyder, 2016). El porcentaje de drenaje permite aportar la cantidad de agua y nutrientes que la planta requiere para su óptimo crecimiento y desarrollo, además de que permite el lavado de sales que se acumulan en el sustrato. Algunos autores recomiendan que el porcentaje de drenaje sea entre 20% y 40% del volumen de solución nutritiva aportado (Giuffrida *et al.*, 2003), mientras que otros investigadores recomiendan un porcentaje de drenaje de 30-35% para evitar la salinización del sustrato (Pardossi *et al.*, 2006).

La atención al porcentaje de drenaje del volumen aportado se considera vital, principalmente por la necesidad de mantener un nivel estable de equilibrio de nutrientes en el medio radical y una distribución homogénea de los mismos en la rizosfera (Urrestarazu, 2015). Desde un punto de vista práctico, es razonable aplicar porcentajes de entre 10% y 30%, en función de la época del año, el estado de desarrollo de las plantas, y la calidad del agua de riego (Urrestarazu, 2015).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación del bioestimulante Algamix® y de dos porcentajes de drenaje sobre el rendimiento y calidad de chile dulce cultivado 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. Esta Estación está situada a 10° 1' latitud norte y 84° 16' longitud oeste, a una altitud de 883 msnm, con un promedio de precipitación anual de 1940 mm distribuidos de mayo a noviembre, y un promedio anual 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, con ventilación cenital automática, y con un sistema de riego por goteo para proporcionar a las plantas el suministro de agua y nutrientes. Se utilizó la metodología de manejo integrado de plagas descrito por otros autores (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2019). Se utilizó el genotipo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) Nathalie F-1, cuyos frutos son de forma cónica y de color rojo a la madurez.

El trasplante se realizó el 5 de junio de 2015, cuando las plantas tenían al menos cuatro hojas verdaderas. El cultivo se estableció en sacos plásticos llenos con fibra de coco como sustrato, con una longitud de 1 m de largo, 20 cm de ancho, y 15 cm de altura. La distancia entre hileras fue de 1,54 m y la distancia entre plantas de 25 cm, para una densidad de 2,60 plantas/m². Se eliminaron todos los brotes debajo de la bifurcación de la planta, y se dejaron por planta solo dos ramas principales a partir de la bifurcación del tallo principal.

Se evaluaron seis tratamientos (tabla 1). Se usó el bioestimulante Algamil®, el cual es preparado con extractos del alga marina *Ascophyllum nodosum*, y que contiene 16 % p/p de K₂O y 0,26 % de Mo (Lida Plant Research, 2022). Se utilizaron las dos formas de aplicación recomendadas para este bioestimulante: vía foliar y vía radicular (aplicada al sustrato), y además se incluyó un testigo, al cual no se le realizaron aplicaciones del bioestimulante. Los tratamientos de porcentaje de drenaje consistieron en un aporte considerado como óptimo (30%) y un aporte considerado como deficitario (10%), según la recomendación de Urrestarazu (2015).

TABLA 1
TRATAMIENTOS EVALUADOS

Número	Tratamiento		Dosis
	Aplicación de bioestimulante	Drenaje	
1	Foliar	10 %	350 ml/ha
2	Radicular	10 %	3,5 l/ha
3	Sin aplicación (Testigo)	10 %	n.a.
4	Foliar	30 %	350 ml/ha
5	Radicular	30 %	3,5 l/ha
6	Sin aplicación (Testigo)	30 %	n.a.

Fuente: elaboración propia.

Los niveles de humedad del sustrato se controlaron con el programador de riego Igrow modelo 1400, por medio de radiación acumulada. Se colocaron dos estaciones de monitoreo para medir el volumen de agua dispensada al saco y el volumen total de agua drenada del saco, y de esta forma calcular y ajustar el porcentaje de drenaje respectivo; estas mediciones se realizaron diariamente.

Desde la siembra hasta los 14 días después del trasplante (ddt), el cultivo se manejó con niveles óptimos de riego; los diferentes tratamientos se aplicaron a partir de los 15 ddt, y se extendieron hasta el fin del ciclo del cultivo. La frecuencia de aplicación del bioestimulante fue de cada 14 días.

Se utilizó un sistema de fertiriego automatizado, con una solución nutritiva validada en la EEAFBM para la producción de chile dulce en ambiente protegido (tabla 2).

TABLA 2
PROGRAMA DE FERTIRRIGACIÓN UTILIZADO

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

Fuente: elaboración propia. PF: piso floral.

La cosecha inició el 14 de agosto de 2015 (70 ddt), y se realizó una vez a la semana, hasta el 9 de noviembre de 2015 (157 ddt), recolectando los frutos que mostraban alguna coloración rojiza. Los frutos se clasificaron en categorías de calidad (tabla 3), según el criterio de los autores y luego de varias consultas a productores y comercializadores de esta hortaliza.

TABLA 3
CATEGORÍAS DE CALIDAD DEL CHILE DULCE

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

Fuente: elaboración propia.

Las variables evaluadas fueron:

1. Número de frutos por planta: se determinó el número de frutos por planta para cada categoría de calidad, se realizó 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 una 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 determinó para cada categoría de calidad; se usó una balanza electrónica marca Ocony, modelo TH-I-EK, de $5000,0 \pm 0,1$ g de capacidad.

3. Rendimiento por hectárea (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. Altura de planta (cm): al finalizar el ciclo del cultivo se midió la altura de la planta, desde el cuello hasta el ápice; se utilizó una cinta métrica de 8 m de longitud marca Assist. Se evaluaron 6 plantas por repetición.
5. Diámetro de tallo (mm): se midió esta variable por debajo de la bifurcación; las evaluaciones se realizaron al finalizar el ciclo del cultivo, y se utilizó un calibrador digital marca Mitutoyo, modelo CD-6" CS, con una capacidad de $154,5 \pm 0,1$ mm. Se evaluaron 6 plantas por repetición.
6. Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix): se tomó un fruto por repetición, al cual se le midió esta variable con la ayuda de un refractómetro manual marca BOECO, con una capacidad de $0-32,0 \pm 0,2$ °Brix.

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 HOBO U30. Asimismo, se evaluó diariamente el valor de pH y conductividad eléctrica (CE), tanto de la solución nutritiva que salía del gotero, como de la solución de drenaje para ambos tratamientos (10% y 30%).

Cada unidad experimental constó de dos sacos (8 plantas), de las cuales se consideraron las dos plantas de los extremos como bordes para reducir el efecto de la deriva durante las aplicaciones foliares del bioestimulante sobre la parcela útil (6 plantas).

Se utilizó un diseño irrestringido al azar, con un arreglo factorial con dos factores, los cuales correspondían a dos porcentajes

de drenaje, y dos formas de aplicación del bioestimulante más un testigo, para un total de seis tratamientos y cuatro repeticiones.

Para todas las variables se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y luego 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, mediante el software estadístico Infostat/L.

Resultados y discusión

Durante el período en que se desarrolló el ensayo, la temperatura diurna promedio dentro del invernadero se ubicó en 27,1 °C (con extremos máximos de 33,4 °C), y la temperatura nocturna promedio fue de 21,4 °C (con extremos mínimos de 19,8 °C). La HR diurna promedio fue de 72,3% (con extremos mínimos de 52,3%), y la HR nocturna promedio fue de 89,2% (con extremos máximos de 94,2%).

Según otros investigadores, los valores climáticos óptimos para chile dulce en invernadero son: 65-70% de HR; 10-12 °C de temperatura mínima biológica; 22-28 °C de temperatura óptima diurna; 16-18 °C de temperatura óptima nocturna; y 28-32 °C de temperatura máxima biológica (López-López y Benavides-León, 2014). Por otra parte, otros autores indican que, en chile dulce, 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, 2017). Por lo tanto, en este ensayo se presentaron dentro del invernadero temperaturas máximas que superaron la temperatura máxima biológica y el umbral máximo, y también se presentaron valores de HR diurna mínima que fueron inferiores a la HR óptima; estas condiciones probablemente causaron estrés abiótico en el cultivo.

A lo largo del ensayo, el valor promedio de pH del gotero fue de 6,0, mientras que del drenaje de 30% fue de 5,9, y del drenaje de 10% fue de 6,2. Por otra parte, el valor promedio de CE del gotero fue de 2,40 dS/m, y fue de 3,30 dS/m para el drenaje de 30%, y de 4,80 dS/m para el drenaje de 10%; lógicamente, la CE

fue mayor con 10% de drenaje, debido a una mayor salinidad del sustrato, en relación con el uso de 30% de drenaje.

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para la altura de la planta ni para el diámetro del tallo. Los valores oscilaron entre 284 y 321 cm para la altura de la planta, y entre 14,74 y 16,30 mm para el diámetro del tallo.

En relación con la altura de la planta, otros investigadores obtuvieron una mayor altura de planta al aplicar extractos de algas (*A. nodosum* y otras) vía foliar en *C. annuum*, en comparación con el testigo (Marhoon y Abbas, 2015; Shabana et al., 2015; Ali et al., 2019; Maraei et al., 2019; Shahen et al., 2019; Ali et al., 2021; Ashour et al., 2021). En otras investigaciones, la aplicación foliar de extracto de *A. nodosum* y otras algas en chile dulce resultó en una altura de planta similar al testigo (Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade y Garcés, 2019; Coello, 2020), y lo mismo sucedió en otro ensayo con la aplicación radicular de extractos de algas en este cultivo (Vega, 2016); este mismo resultado se obtuvo en el presente trabajo. En otro caso en que se evaluó la aplicación foliar de un extracto de algas en chile dulce, la altura de la planta que recibió el extracto de algas fue superior o igual al testigo, según la dosis del extracto (Hussein et al., 2019).

Con respecto al diámetro del tallo, en otros ensayos, la aplicación foliar de extracto de *A. nodosum* y otras algas resultó en un diámetro de tallo similar al testigo (Anchundia, 2017; Coello, 2020); este mismo resultado se encontró en la presente investigación. Por el contrario, otros autores informaron que la aplicación de extractos de algas en chile dulce provocó el aumento en el diámetro del tallo (Pohl et al., 2019).

Por otra parte, un investigador aplicó extractos de algas a nivel radicular en chile dulce, y obtuvo valores menores de altura de planta y diámetro de tallo en comparación con el testigo (Coello, 2020).

En otro ensayo en chile dulce, no hubo diferencias en altura de planta ni en diámetro de tallo, entre niveles de drenaje de 23,1-26,3% y 7,5-8,8% (An et al., 2012); en el presente trabajo se halló un resultado similar entre los tratamientos de 10% y 30% de drenaje.

En la tabla 4 se presentan los datos obtenidos para el número de frutos por planta. No se hallaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos del factor de aplicación de bioestimulante para ninguna de las categorías de calidad. En el caso del factor drenaje, solamente se hallaron diferencias significativas para las categorías de primera y tercera calidad; el tratamiento de 10% produjo una menor cantidad de frutos de primera calidad, y una mayor cantidad de frutos de tercera calidad, en comparación con el tratamiento de 30%. La interacción bioestimulante x drenaje no fue estadísticamente significativa para ninguna de las categorías de calidad.

TABLA 4

NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA, SEGÚN CATEGORÍA DE CALIDAD

		Número de frutos por planta, según calidad					
Efecto	Tratamiento	Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
	Foliar	37,46 a	36,21 a	12,04 a	18,79 a	5,37 a	1,25 a
B	Radicular	37,54 a	36,69 a	11,52 a	18,63 a	6,54 a	0,86 a
	Testigo	38,61 a	37,50 a	12,23 a	18,71 a	6,56 a	1,06 a
D	10 %	38,79 a	37,47 a	10,93 a	19,32 a	7,22 b	1,32 a
	30 %	36,95 a	36,13 a	12,93 b	18,10 a	5,10 a	0,79 a
Interacción B x D		ns	ns	ns	ns	ns	ns

Nota: B: bioestimulante; D: drenaje. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba LSD Fisher.; ns = no significativa.

Varios investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum* y otras) en chile dulce provocó un aumento significativo en el número de frutos por planta, en comparación con el testigo (Shabana et al., 2015; Hussein et al., 2019; Pohl et al., 2019; Deepika y Tiwari, 2021). Sin embargo, otros autores han informado que las plantas de chile dulce que recibieron la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum* y otras) produjeron un número de frutos totales por planta igual al testigo (Arthur et al., 2003; Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade y Garcés, 2019; Coello, 2020), y lo mismo se informó con la aplicación radicular de extractos de algas en este cultivo (Vega, 2016); estos resultados son similares a los obtenidos en el presente ensayo. En este mismo sentido, en el cultivo de melón en invernadero, la aplicación de Algamix® vía radicular produjo un número de frutos por planta estadísticamente similar al testigo (Alvarado-Sánchez y Monge-Pérez, 2015).

En otra investigación, la aplicación radicular de extractos de algas en chile dulce produjo un menor número de frutos por planta que el testigo (Coello, 2020).

En otro ensayo en chile dulce en invernadero, el tratamiento foliar con extracto de algas produjo un número de frutos por planta superior o igual al testigo, según la dosis del extracto y el año de evaluación (Shahen et al., 2019).

En la tabla 5 se presentan los datos de peso promedio del fruto. No se hallaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en el factor de aplicación de bioestimulante, para ninguna de las categorías de calidad. En el caso del factor drenaje, solamente se hallaron diferencias significativas para la categoría de primera calidad y para el total de frutos; el tratamiento de 10% produjo un menor peso del fruto para ambas categorías. La interacción bioestimulante x drenaje solamente fue estadísticamente significativa para el peso del fruto de primera calidad.

Se ha informado que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum* y otras) en chile dulce provocó el aumento del tamaño (y peso) del fruto, en comparación con el testigo (Hussein et al., 2019; Pohl et al., 2019).

TABLA 5

PESO PROMEDIO DEL FRUTO, SEGÚN CATEGORÍA DE CALIDAD

Efecto	Tratamiento	Peso promedio del fruto (g), según calidad					
		Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
	Foliar	114,61 a	114,98 a	141,07 a	111,17 a	70,74 a	101,01 a
B	Radicular	114,36 a	114,67 a	142,64 a	111,55 a	72,37 a	104,58 a
	Testigo	114,81 a	115,53 a	143,87 a	111,75 a	74,82 a	100,00 a
	10 %	111,93 a	112,53 a	140,16 a	111,09 a	74,58 a	96,50 a
D	30 %	117,25 b	117,59 a	144,89 b	111,89 a	70,72 a	107,24 a
	Interacción B x D	ns	ns	*	ns	ns	ns

Nota: B: bioestimulante; D: drenaje. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba LSD Fisher; * = significativa ($p \leq 0,05$); ns = no significativa.

Sin embargo, otros investigadores hallaron que la aplicación foliar de extractos de *A. nodosum* y otras algas en chile dulce produjo un peso del fruto que fue igual al alcanzado

por el testigo (Arthur et al., 2003; Andrade y Garcés, 2019; Coello, 2020; Deepika y Tiwari, 2021), y lo mismo se informó con la aplicación radicular de extractos de algas en este cultivo (Vega, 2016); esto mismo sucedió en el presente ensayo con el peso de los frutos de todas las categorías de calidad. De igual forma, en el cultivo de melón en invernadero, la aplicación de Algamix® vía radicular produjo un peso del fruto estadísticamente similar al testigo (Alvarado-Sánchez y Monge-Pérez, 2015).

En cuanto a la aplicación radicular de extractos de algas en chile dulce, en otro trabajo produjo un menor peso del fruto que el testigo (Coello, 2020).

En otro ensayo de aplicación foliar de extractos de algas en chile dulce en invernadero, el peso del fruto fue superior o igual al testigo, según la dosis del extracto y el año de evaluación (Shahen et al., 2019).

En otra investigación en chile dulce, no hubo diferencias en el peso del fruto, entre niveles de drenaje de 23,1-26,3% y 7,5-8,8% (An et al., 2012); en forma contraria, en el presente trabajo sí se hallaron diferencias en el peso del fruto de primera calidad y total, entre los tratamientos de 10% y 30% de drenaje.

En la tabla 6 se presenta el rendimiento obtenido en el ensayo. Solamente se hallaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos del factor de aplicación de bioestimulante para la categoría de tercera calidad; el tratamiento de aplicación foliar produjo un menor rendimiento de frutos de tercera calidad, en comparación con el tratamiento testigo. En el caso del factor drenaje, solamente se hallaron diferencias significativas para las categorías de primera y tercera calidad; el tratamiento de 10% produjo un menor rendimiento de frutos de primera calidad y un mayor rendimiento de frutos de tercera calidad, en comparación con el tratamiento de 30%. La interacción bioestimulante x drenaje no fue estadísticamente significativa para ninguna de las categorías de calidad.

TABLA 6

RENDIMIENTO POR HECTÁREA, SEGÚN CATEGORÍA DE CALIDAD

Efecto	Tratamiento	Rendimiento hasta los 157 ddt (ton/ha), según calidad					
		Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
B	Foliar	111,73 a	108,34 a	44,20 a	54,30 a	9,84 a	3,39 a
	Radicular	111,21 a	109,01 a	42,88 a	53,97 a	12,17 ab	2,20 a
	Testigo	115,31 a	112,67 a	45,62 a	54,23 a	12,82 b	2,65 a
D	10 %	112,76 a	109,48 a	39,78 a	55,79 a	13,91 b	3,28 a
	30 %	112,74 a	110,53 a	48,68 b	52,55 a	9,30 a	2,21 a
	Interacción B x D	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bioestimulante x Drenaje							
Foliar	10 %	ns	ns	ns	ns	11,30 ab	ns
Radicular	10 %	ns	ns	ns	ns	14,98 bc	ns
Testigo	10 %	ns	ns	ns	ns	15,46 c	ns
Foliar	30 %	ns	ns	ns	ns	8,38 a	ns
Radicular	30 %	ns	ns	ns	ns	9,35 a	ns
Testigo	30 %	ns	ns	ns	ns	10,17 a	ns

Nota: B: bioestimulante; D: drenaje. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba LSD Fisher.; ns = no significativa.

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 *C. annuum*, en comparación con el testigo (Battacharyya et al., 2015; Shabana et al., 2015; Ali et al., 2019; Hussein et al., 2019; Maraei et al., 2019; Pohl et al., 2019; Ali et al., 2021; Deepika y Tiwari, 2021).

Sin embargo, otros autores hallaron que la aplicación foliar de extractos de *A. nodosum* y otras algas en chile dulce, produjo un rendimiento total y comercial que fue igual al del testigo (Armijos, 2014; Anchundia, 2017; Andrade y Garcés, 2019; Coello, 2020), y lo mismo se informó para la aplicación radicular de extractos de algas en este cultivo (Vega, 2016); estos resultados coinciden con los hallados en el presente ensayo. De manera similar, en el cultivo de melón en invernadero, la aplicación de Algamix® vía radicular produjo un rendimiento total y comercial estadísticamente similares al del testigo (Alvarado-Sánchez y Monge-Pérez, 2015).

Por otra parte, en otra investigación se informó que la aplicación radicular de extractos de algas en chile dulce produjo un menor rendimiento que el del testigo (Coello, 2020).

En otros ensayos con extractos de algas (*A. nodosum* y otras) aplicadas a nivel foliar en chile dulce en invernadero, el tratamiento con algas produjo un rendimiento superior o igual al del testigo, según la dosis del extracto y el año de evaluación (Yildiztekin et al., 2018; Shahen et al., 2019; Ashour et al., 2021).

De acuerdo con Yildirim (2010), para prevenir problemas de salinidad en chile dulce, el porcentaje de drenaje debe ser al menos de 29% para mantener un rendimiento aceptable; en el presente trabajo, este nivel de drenaje (30%) únicamente produjo un mayor rendimiento con respecto a 10%, en la primera calidad, pero el rendimiento comercial y total fue igual para ambos porcentajes de drenaje.

En otro ensayo en chile dulce, no hubo diferencias en el rendimiento comercial y total, entre porcentajes de drenaje de 23,1-26,3% y 7,5-8,8% (An et al., 2012); en el presente trabajo se halló un resultado similar para los tratamientos de 10% y 30% de drenaje. Sin embargo, con respecto al rendimiento de primera

calidad, con 10% de drenaje se obtuvo un menor rendimiento, en relación con 30% de drenaje, lo cual se puede explicar por el efecto perjudicial de la salinidad del sustrato que se presentó con el uso de 10% de drenaje.

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el porcentaje de sólidos solubles totales. No se hallaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos del factor de aplicación de bioestimulante. En el caso del factor drenaje, el tratamiento de 10% produjo un menor porcentaje de sólidos solubles totales, en comparación con el tratamiento de 30%. La interacción bioestimulante x drenaje no fue estadísticamente significativa.

TABLA 7
PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES DEL FRUTO

Efecto	Tratamiento	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
	Foliar	8,56 a
B	Radicular	8,64 a
	Testigo	8,57 a
D	10 %	8,47 a
	30 %	8,72 b
	Interacción B x D	ns

Nota: B: bioestimulante; D: drenaje. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba LSD Fisher.; ns = no significativa.

Varios investigadores informaron que la aplicación foliar de extractos de algas (*A. nodosum* y otras), provocó un aumento significativo en el porcentaje de sólidos solubles totales en los frutos de chile dulce, en comparación con el testigo (Shabana et al., 2015; Pohl et al., 2019); en forma contraria, en el presente ensayo el resultado obtenido con la aplicación foliar del extracto de algas fue similar al del testigo.

En otra investigación en chile dulce, no hubo diferencias en el porcentaje de sólidos solubles totales, entre niveles de drenaje de 23,1-26,3% y 7,5-8,8% (An et al., 2012); de manera contraria, en el presente trabajo sí se hallaron diferencias entre los tratamientos de 10% y 30% de drenaje.

Según Pohl et al. (2019), la respuesta de las plantas a la aplicación de extractos de algas depende del material biológico (planta y alga), condiciones de crecimiento, métodos de cultivo, la dosis utilizada, la forma de aplicación, y los momentos de aplicación de los extractos. Una de las posibles explicaciones para la pobre respuesta de la planta a la aplicación del bioestimulante es la existencia de una condición de estrés abiótico, que afectó la fisiología de la planta y no permitió que se expresaran los efectos benéficos del extracto de algas. En condiciones de invernadero, la temperatura juega un papel importante en el cultivo de chile dulce; la condición ideal para este cultivo es una temperatura diurna de 25-30 °C y una temperatura nocturna de 18-20 °C (Pramanik et al., 2020). En relación con la HR, el chile dulce se desarrolla mejor con valores superiores a 80% durante el día, y de 60-70% durante la noche (Karapanos et al., 2008). Una baja HR junto con alta temperatura puede causar deshidratación de las células lo que provoca daños permanentes a la planta y una reducción del crecimiento, así como la abscisión de flores y disminución del cuajado de frutos, lo que provoca un menor número de frutos por planta y un menor rendimiento (Karapanos et al., 2008; Pramanik et al., 2020). En el presente ensayo se presentaron temperaturas diurnas de hasta 33,4 °C, y además la HR diurna promedio fue de 72,3%, con extremos mínimos de 52,3%, y la HR nocturna promedio fue de 89,2%, con extremos máximos de 94,2 %; estas condiciones pudieron haber causado un alto nivel de estrés abiótico, el cual no logró ser ate-

nuado por los tratamientos con el bioestimulante, por lo que la altura de planta, diámetro de tallo, número de frutos por planta, peso promedio del fruto, porcentaje de sólidos solubles totales, y el rendimiento total y comercial obtenidos, no fueron diferentes a los del testigo, con ninguna de las formas de aplicación (foliar y radicular). Las dosis utilizadas y los momentos de aplicación fueron los recomendados en la etiqueta del producto, por lo que no parece que estos factores tengan una incidencia negativa en los resultados obtenidos, aunque en futuras investigaciones se podrían evaluar dosis más altas, en función de que otros investigadores han obtenido una respuesta diferencial en chile dulce según la dosis del extracto de algas utilizada.

En el caso del porcentaje de drenaje, el mejor resultado se obtuvo con 30%, como era esperable, dado que un 10% de drenaje se considera deficitario, lo cual conlleva un aumento en la conductividad eléctrica del sustrato (problemas de salinidad). Con 30% de drenaje se obtuvo un mayor número de frutos, un mayor peso del fruto y un mayor rendimiento, en la categoría de primera calidad, así como un mayor porcentaje de sólidos solubles (frutos más dulces), lo que comprueba que es un nivel óptimo de drenaje, tal y como ha sido recomendado por varios investigadores.

Conclusiones

La aplicación del bioestimulante no produjo diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables, excepto en el rendimiento de frutos de tercera calidad, donde las plantas que recibieron la aplicación foliar del bioestimulante produjeron un menor rendimiento en relación con el testigo.

En comparación con las plantas que tuvieron un 30% de drenaje, las plantas con un 10% de drenaje presentaron: una menor cantidad de frutos por planta y un menor rendimiento, en el caso de primera calidad; una mayor cantidad de frutos por planta y un mayor rendimiento, en el caso de tercera calidad; un menor peso del fruto (total y de primera calidad); y un menor porcentaje de sólidos solubles totales del fruto.

La aplicación del bioestimulante no mejoró ni el rendimiento ni la calidad del chile dulce, por lo que no se recomienda su uso, bajo las condiciones en que se realizó el estudio.

Se recomienda el uso de un drenaje del 30 %, dado que produjo el mayor rendimiento de frutos de primera calidad.

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.

Bibliografía

- Ali, O., Ramsuhag, 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. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216710>
- Ali, O., Ramsuhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(531), 1-27. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/531>
- Alvarado-Sánchez, T., & Monge-Pérez, J. E. (2015). Efecto de la aplicación de bioactivadores y del raleo manual de frutos sobre el rendimiento y la calidad de melón (*Cucumis melo* L.) bajo cultivo protegido en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 15-25. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2439
- An, C. G., Hwang, Y. H., An, J. U., Yoon, H. S., Chang, Y. H., Shon, G. M., Hwang, S. J., Kim, K. S., & Rhee, H. C. (2012). Effect of irrigation methods for reducing drainage on growth and yield of paprika (*Capsicum annuum* 'Coletti') in rockwool and cocopeat culture. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(3), 228-235. <https://agsr.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR2015005494>

- 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 Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias para el Desarrollo, Universidad de Guayaquil].
- Andrade, O., & 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. <https://www.eumed.net/rev/delos/34/bioestimulante-fertilizacion.pdf>
- Armijos, S. I. (2014). *Respuesta del pimiento (Capsicum annuum L.) a la aplicación de bioestimulantes en la parroquia El Progreso, cantón Pasaje*. [Tesis de la Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 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 annuum*. *South African Journal of Botany*, 69(2), 207-211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915303483>
- 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 annuum*). *Plants*, 10(1045), 1-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8224274/>
- Baixauli, C. y Aguilar, J. M. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas; aspectos prácticos y experiencias. Textos i Imatges, S. A. Valencia, España. 59 p. <https://ivia.gva.es/documents/161862582/161863558/Cultivo+sin+suelo+de+hortalizas>
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030442381530176X>

- 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. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212017000100020&script=sci_abstract&tlang=es
- 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 Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COELLO%20VILLAMAR%20HENRY%20EDUARDO.pdf>
- Deepika, & Tiwari, S. P. (2021). Effect of different Biozyme concentration for maximum yield potential in *Capsicum annuum* L. *International Journal of Chemical Studies*, 9(2), 432-436. <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2021&vol=9&issue=2&ArticleId=11855&si=false>
- Elizondo-Cabalceta, E., & Monge-Pérez, J. E. (2019). Pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Revista Posgrado y Sociedad*, 17(2), 33-60. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/2278>
- 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. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/677/html>
- Giuffrida, F., Argento, S., Lipari, V., & Leonardi, C. (2003). Methods for controlling salt accumulation in substrate cultivation. *Acta Horticulturae*, 614, 799-803. https://www.actahort.org/books/614/614_117.htm
- 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. <http://www.botanyjournals.com/archives/2019/vol4/issue4/4-3-23>

- 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. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBookOnline/images/0812/EJPSB_2\(SI1\)/EJPSB_2\(SI1\)88-105o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBookOnline/images/0812/EJPSB_2(SI1)/EJPSB_2(SI1)88-105o.pdf)
- Lida Plant Research. (2022). Algamix®: bioactivador a base de algas marinas. Ficha técnica. Valencia, España. 2 p.
- 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. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000100012
- 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. <https://potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/1131>
- 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 annuum* L.) cultivars. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 1(1), 35-44. <https://www.arcjournals.org/international-journal-of-research-studies-in-agricultural-sciences/volume-1-issue-1/5>
- Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Massa, D., & Tognoni, F. (2006). Simplified models for the water relations of soilless cultures: what they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture. *Acta Horticulturae*, 718, 1-10. https://www.actahort.org/books/718/718_49.htm
- Pohl, A., Kalisz, A., & Sekara, A. (2019). Seaweed extracts' multi-factorial action: influence on physiological and biochemical status of Solanaceae plants. *Acta Agrobotanica*, 72(1), 1758. <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/aa/article/view/aa.1758/0>

- Pramanik, K., Mohapatra, P. P., Pradhan, J., Acharya, L. K., & Jena, C. (2020). Factors influencing performance of *Capsicum* under protected cultivation: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 10(12), 572-588. <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/30339>
- Roy, S., Chatterjee, S., Hossain, M. A., Basfore, S., & 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. <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=1&ArticleId=4970&si=false>
- 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 annuum* L.) by using antioxidant and seaweed extracts. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 4(2), 154-161. <https://www.curresweb.com/mejar/mejar/2015/154-161.pdf>
- 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. https://jalexu.journals.ekb.eg/article_163462.html
- 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(6 55), 1-22. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00655/full>
- Snyder, R. (2016). Guía del cultivo de tomate en invernaderos. <http://msucares.com/espanol/pubs/p2419.pdf>
- Vega, W. J. (2016). *Evaluación del rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*) mediante la aplicación edáfica de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*), ácidos húmicos y fúlvicos en la zona de Quevedo*. [Tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1915/1/T-UTEQ-0034.pdf>

- Yildirim, M. (2010). Water management in coastal areas with low quality irrigation water for pepper growth. *Journal of Coastal Research*, 26(5(265)), 869-878. [https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-18/issue-\(7\)/JCOASTRES-D-09-00038.1/Water-Management-in-Coastal-Areas-with-Low-Quality-Irrigation-Water/10.2112/JCOASTRES-D-09-00038.1.short](https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-18/issue-(7)/JCOASTRES-D-09-00038.1/Water-Management-in-Coastal-Areas-with-Low-Quality-Irrigation-Water/10.2112/JCOASTRES-D-09-00038.1.short)
- 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. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30257582/>