

Bioestimulación de extractos de plantas del semidesierto en crecimiento, rendimiento y calidad en pepino

Bioestimulation of semi-desert plant extracts on growth, yield, and quality in cucumber

Diana Jasso de Rodríguez^{1*} , Iván Cuevas-Julio² , Homero Ramírez-Rodríguez¹ , José Ángel Villarreal-Quintanilla¹ , Armando Hernández-Pérez¹ , M. Lourdes Virginia Díaz-Jiménez² , Fidel M. Peña-Ramos¹ , Dennise A Carrillo-Lomelí¹ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo, Avenida Industria Metalúrgica 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, CP. 25900. Ramos Arizpe, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: dianajassocantu@yahoo.com.mx

Nota científica

Recibida: 22 de mayo 2024

Aceptada: 23 de julio 2024

RESUMEN. El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo relevante en la horticultura y economía mundial. México destaca como el sexto mayor productor de pepino, con 72.3% exportado. La alta demanda ha impulsado innovaciones agrícolas para mejorar su crecimiento, rendimiento y calidad del fruto. Los extractos de plantas del semidesierto utilizados como bioestimulantes representan una alternativa sostenible para aumentar su productividad. El objetivo fue evaluar el efecto bioestimulante de extractos de *Rhus muelleri*, *Flourensia microphylla* y *F. retinophylla*, solos o combinados, comparados con tres biorreguladores comerciales: ácido giberélico, ácido indolacético, y 6-Bencilaminopurina, y un control, en el crecimiento, rendimiento y calidad de pepino. Los tratamientos se aplicaron, primero imbibiendo las semillas, y después por aplicación foliar. La combinación de extractos mostró mejor rendimiento y calidad del pepino, superando a los biorreguladores y control. Los extractos de plantas del semidesierto bioestimularon el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del pepino híbrido Centauro F1.

Palabras clave: *Flourensia microphylla*, *Flourensia retinophylla*, *Rhus muelleri*.

ABSTRACT. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a relevant crop in horticulture and the world economy. Mexico stands out as the sixth largest cucumber producer, with 72.3% exported. High demand has driven agricultural innovations to improve growth, yield and fruit quality. Extracts from semi-desert plants used as bioestimulants represent a sustainable alternative to increase productivity. The aim was to evaluate the bioestimulant effect of *Rhus muelleri*, *Flourensia microphylla* y *F. retinophylla* extracts, alone or combined, compared with three commercial bioregulators: gibberellic acid, indoleacetic acid, and 6-benzylaminopurine, and a control, in the growth, yield and quality of cucumber. The treatments were applied, first by imbibing the seeds, and then by foliar application. The combination of extracts showed better yield and quality of cucumber, surpassing the bioregulators and control. The semi-desert plant extracts biostimulated the vegetative growth, yield and quality of cucumber hybrid Centauro F1.

Keywords: *Flourensia microphylla*, *Flourensia retinophylla*, *Rhus muelleri*.

Como citar: Jasso de Rodríguez D, Cuevas-Julio I, Ramírez-Rodríguez H, Villarreal-Quintanilla JA, Hernández-Pérez A, Díaz-Jiménez MLV, Peña-Ramos FM, Carrillo-Lomelí DA (2024) Bioestimulación de extractos de plantas del semidesierto en crecimiento, rendimiento y calidad en pepino. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(3): e4186. DOI: 10.19136/era.a11n3.4186.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) tiene gran importancia en la producción hortícola mexicana. En el 2022, ocupó el quinto lugar a nivel mundial obteniendo un rendimiento de 54.8 t ha⁻¹, correspondiente a una producción de 1.029 millones de toneladas y un valor de 7 655.22 millones de pesos (SIAP 2024). Es notable que la comercialización del pepino genera una importante contribución en la economía. Por lo anterior, la investigación agrícola ha buscado alternativas que puedan aplicarse en los cultivos de pepino para mejorar el rendimiento y calidad del fruto.

La aplicación de bioestimulantes tiene como ventaja incrementar la absorción de nutrientes en las plantas, así como mejorar la calidad en la producción (Cristofano *et al.* 2021). El uso de extractos de plantas como bioestimulantes es una estrategia que puede ser aplicada para mejorar, con compuestos naturales, el desarrollo de cultivos y su producción. En las regiones semiáridas del norte de México hay una gran diversidad de especies de plantas silvestres que crecen bajo condiciones climáticas extremas (Adame y Adame 2000). Estas especies producen una amplia variedad de metabolitos secundarios, destacando compuestos de naturaleza esteroide, fenoles, flavonoides y sesquiterpenos, entre otros (Jasso de Rodríguez *et al.* 2017, 2023a). Además, los extractos de plantas del semidesierto, como *Rhus muelleri*, *Flourensia microphylla*, y *F. retinophylla* han demostrado su potencial para ser aplicados como bioestimulantes en cultivos de pimiento (Jasso de Rodríguez *et al.* 2023b). Sin embargo, no se han reportado estudios sobre la aplicación de combinaciones de extractos como biestimulantes. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto bioestimulante de extractos de *R. muelleri*, *F. microphylla*, y *F. retinophylla*, solos o combinados, comparados con tres bioreguladores comerciales: ácido giberélico (AG), ácido inolacético (AIA), y 6-bencilaminopurina (6-BAP); y un control en el crecimiento, rendimiento y calidad de pepino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de plantas y obtención de extractos

Se colectaron al azar ramas con hojas de *R. muelleri*, *F. microphylla*, y *F. retinophylla* (15 plantas por especie) en sitios nativos localizados en la región semiárida al sureste del estado de Coahuila (25° 07'13" LN y 101° 07'24" LO) y en los límites de Coahuila y Nuevo León (25° 22.022' LN, y 100° 24.716' LO). Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Fitoquímica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y enseguida las hojas, se separaron de los tallos, se secaron y molieron siguiendo lo reportado por Carrillo-Lomelí *et al.* (2022). Posteriormente, se realizó la extracción de compuestos de las hojas de las plantas, siguiendo la técnica reportada por Ramírez *et al.* (2001). En resumen, se mezclaron 10 g de hojas molidas con 500 mL metanol, y se mantuvieron en congelación durante 24 h, posteriormente se filtró el extracto y se agregó metanol a las hojas, manteniendo en congelación por 4 h, el proceso se repitió 2 veces. Los extractos filtrados se mezclaron y se evaporó el solvente en un rotaevaporador, a 50 °C. Se obtuvieron tres extractos: RM (*R. muelleri*), FM (*F. microphylla*), y FR (*F. retinophylla*). Adicionalmente, se realizaron combinaciones de extractos a concentraciones 1:1 (w/w) para RM+FM, RM+FR, y FM+FR; así como a una concentración de 1:1:1 (w/w) para RM+FM+FR.

Establecimiento de cultivo en invernadero

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El cultivo se estableció en un invernadero de mediana tecnología, durante el periodo primavera-verano (abril-agosto, 2022). Se utilizaron semillas de pepino (*C. sativus* L.) híbrido Centauro F₁ (Fito S.A., España), las cuales se colocaron en cajas Petri que contenían las soluciones de los tratamientos. Las semillas se imbibieron con las soluciones durante 24 h. Posteriormente, se realizó la siembra, colocando dos semillas por maceta de plástico de 15 L de capacidad. En cada maceta se dejó una planta de pepino, la cual fue guiada a un tallo principal. A los 25 días después de la siembra (DDS) se realizó el entutorado. Las plantas fueron regadas por medio de un sistema de riego por goteo. La fertilización del cultivo se realizó a través del suministro de solución Steiner, tomando en cuenta la etapa fenológica del cultivo (Steiner 1961). El experimento se realizó durante 122 DDS.

Diseño experimental y aplicación de tratamientos.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, con 11 tratamientos y 8 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron tres extractos: RM, FM, FR; cuatro combinaciones de extractos: RM+FM, FM+FR, RM+FR, RM+FM+FR; así como tres biorreguladores: AG, AIA, 6-BAP; y un testigo absoluto. Los extractos se prepararon a 100 mg L⁻¹, y los biorreguladores a 75 mg L⁻¹. La aplicación de los tratamientos se realizó en la imbibición de semillas y de manera foliar durante seis ocasiones: 15, 29, 44, 59, 73, y 89 DDS.

Evaluación de variables

Crecimiento de planta

Las variables de crecimiento de vegetativo se evaluaron a los 122 DDS, se midieron la longitud de tallo (m) con un flexómetro, diámetro de tallo (mm) con un vernier digital, además, número de hojas, longitud de raíz (cm), peso fresco y seco de hojas y tallos (g).

Componentes del Rendimiento

La cosecha de frutos se inició a los 50 DDS y terminó a los 122 DDS, el criterio de cosecha fue que los frutos se encontrarán en un estado ligeramente inmaduro (Casaca 2005). Se contaron los frutos por planta y se pesó cada uno (g). El rendimiento por planta se determinó sumando el peso de todos los frutos cosechados por maceta.

Calidad del fruto

Para la evaluación de calidad del fruto de pepino, se determinó la longitud del fruto (cm), el diámetro ecuatorial (mm), la firmeza (López-Morales *et al.* 2022), sólidos solubles totales (SST) (Loáiciga-Arias *et al.* 2023) y el potencial de hidrógeno (pH) (Jasso de Rodríguez *et al.* 2020).

Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos, se realizaron análisis de varianza (ANVA) con prueba de comparación de medias por Duncan ($p \leq 0.05$); con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Longitud y diámetro de tallo

En los resultados de longitud de tallo a los 122 DDS (Figura 1), se observó que los tratamientos FR (4.86 m) y FM+FR (4.86 m), tuvieron la mayor ($p < 0.05$) longitud de tallo de las plantas de pepino, también se observaron valores estadísticamente similares ($p > 0.05$) con los tratamientos FM (4.59 m), RM+FM (4.71 m), RM+FR (4.69 m), y RM+FM+FR (4.58 m), así como con los tres biorreguladoras comerciales. Además, se observó la menor longitud de tallo en las plantas tratadas con RM (4.40 m). El mayor crecimiento de longitud en los tratamientos FR y FM+FR, podría atribuirse al alto contenido de compuestos polifenólicos que poseen los extractos (Jasso de Rodríguez *et al.* 2017), los cuales son compuestos bioactivos, que llevan a cabo una sinergia entre ellos. Este mismo comportamiento en esta variable se ha reportado en plantas de pimiento morrón al aplicar extractos vegetales, plantas tratadas con *F. retinophylla* que tuvieron mayor crecimiento de tallo y similar a las tratadas con ácido giberélico, mientras que las plantas tratadas con *R. muelleri* presentaron la menor longitud del tallo (Jasso de Rodríguez *et al.* 2023b).

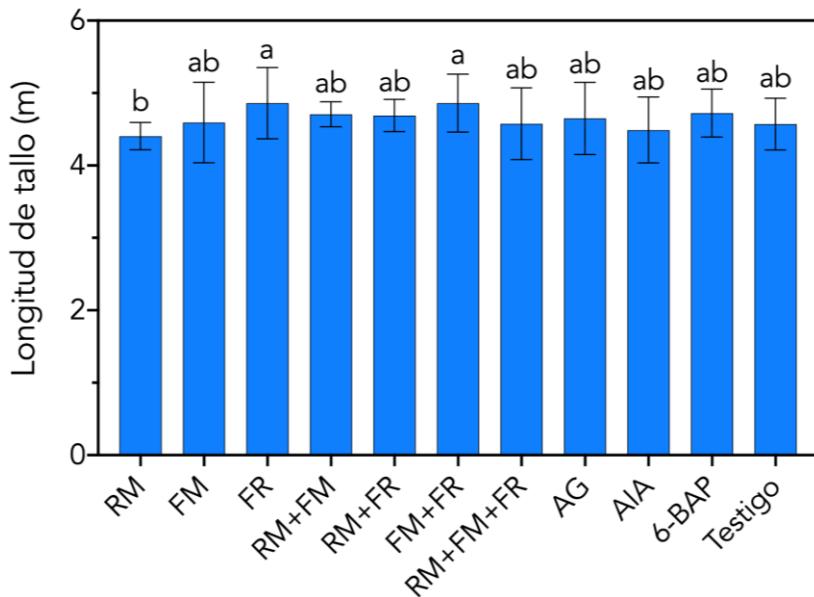


Figura 1. Efecto de los tratamientos en la longitud de tallo en plantas de pepino. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, Duncan ($p > 0.05$).

Por otra parte, AG y AIA promueven la división y la elongación celular en las plantas, estimulando los procesos de crecimiento de estas (Vega-Celedón *et al.* 2016). De acuerdo con estos resultados, se evidenció que los extractos de plantas del semidesierto actúan de igual o mejor forma que los biorreguladores, estimulando el crecimiento del tallo. Con lo anterior se resalta la importancia de considerar el uso de extractos como bioestimulantes, ya que tiene un impacto significativo en el crecimiento de las plantas.

Respecto al diámetro de tallo, se observó el mayor diámetro con el tratamiento de 6-BAP, las plantas tratadas con los extractos tuvieron menor diámetro, aunque sobresalieron los extractos FM

y RM+FM (Figura 2). Usando extractos de algas en plantas de pepino del mismo material que en este estudio (Centauro), las medidas de diámetro de plantas de pepino fueron similares o menores al testigo (Mendez *et al.* 2023), comportamiento similar al observado en el presente estudio con los tratamientos de extractos de plantas del semidesierto, comparadas con el testigo.

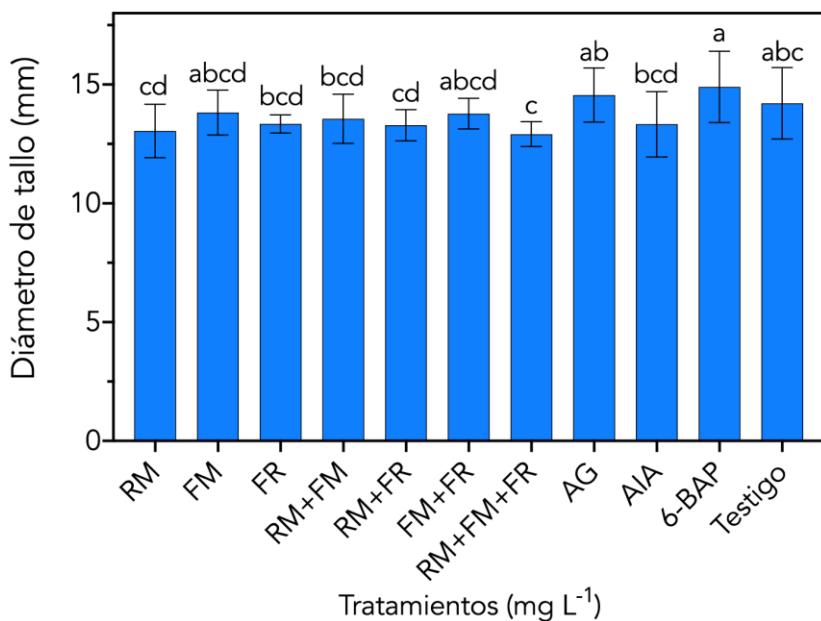


Figura 2. Efecto de los tratamientos en el diámetro de tallo en plantas de pepino (*C. sativus* L.). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, Duncan ($p > 0.05$).

Número de hojas

Por otra parte, el mayor número de hojas se observó con la aplicación de 6-BAP (Tabla 1), y teniendo valor estadísticamente ($p > 0.05$) similar a los observados con los tratamientos de AG y los extractos, a excepción de RM. Este tratamiento tuvo estadísticamente el menor ($p < 0.05$) efecto en la producción de hojas, al igual que el tratamiento AIA.

Longitud de raíz, peso fresco y seco de hojas y tallos

La mayor longitud (Tabla 1) comparada con el testigo, se observó con el tratamiento AG, siendo similar a los demás tratamientos de bioreguladores y extractos, excepto a RM y FM+FR. Notando que en los tratamientos de los extractos FM, FR, RM+FM, RM+FR y la combinación de los tres extractos hubo aumentos desde 0.51 hasta 7.47%, con respecto al testigo. En un estudio se aplicó una concentración de 500 mg L⁻¹ de extracto de algas a plantas de pepino (Mendez *et al.* 2023), la longitud de las raíces, tuvo valor similar a los obtenidos con la aplicación de extractos de FM, FR, RM+FR y RM+FM+FR. Cabe mencionar que, en la presente investigación se aplicaron los extractos a una concentración cinco veces menor a la de los extractos de algas, lo que sugiere que FM, FR, RM+FR y RM+FM+FR son bioactivos a concentraciones menores. La longitud de la raíz es un indicador importante del vigor y la salud de las plantas, que influye en la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes del suelo (Drobek *et al.* 2019).

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en número de hojas, longitud de raíz, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz en pepino (*C. sativus* L.)

Tratamientos	No. Hojas	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
			Hojas	Tallo	Hojas	Tallo
RM	24.75 ± 2.55 ^b	38.76 ± 1.34 ^c	329.63 ± 73.28 ^b	226.50 ± 23.98 ^c	38.27 ± 9.44 ^c	24.68 ± 3.52 ^b
FM	25.88 ± 1.46 ^{ab}	46.36 ± 6.58 ^{abc}	356.13 ± 33.5 ^{ab}	254.13 ± 20.47 ^{abc}	45.94 ± 4.14 ^{abc}	28.27 ± 2.93 ^{ab}
FR	26.13 ± 2.47 ^{ab}	43.62 ± 11.89 ^{bc}	329.63 ± 21.10 ^b	229.75 ± 21.25 ^{bc}	41.37 ± 3.46 ^{bc}	25.1 ± 3.69 ^b
RM+FM	26.00 ± 3.74 ^{ab}	46.64 ± 5.51 ^{abc}	373.88 ± 48.65 ^{ab}	259.50 ± 13.51 ^{ab}	45.91 ± 7.14 ^{abc}	26.44 ± 2.67 ^b
RM+FR	26.25 ± 1.67 ^{ab}	46.54 ± 2.92 ^c	367.25 ± 52.4 ^{ab}	255.00 ± 28.76 ^a	43.84 ± 4.56 ^{abc}	27.35 ± 2.85 ^{ab}
FM+FR	26.63 ± 2.45 ^{ab}	39.34 ± 12.19 ^{abc}	380.88 ± 47.92 ^{ab}	273.13 ± 29.25 ^{abc}	47.29 ± 6.2 ^{abc}	29.01 ± 5.14 ^{ab}
RM+FM+FR	27.25 ± 2.82 ^{ab}	45.92 ± 12.34 ^{bc}	352.38 ± 90.92 ^{ab}	256.88 ± 24.75 ^{abc}	47.07 ± 8.25 ^{abc}	27.4 ± 2.75 ^{ab}
AG	27.38 ± 3.16 ^{ab}	57.94 ± 2.8 ^a	396.13 ± 84.73 ^{ab}	274.63 ± 34.58 ^a	51.52 ± 12.73 ^a	31.61 ± 2.77 ^a
AIA	24.25 ± 3.06 ^b	46.84 ± 11.03 ^{abc}	344.88 ± 92.71 ^b	264.13 ± 53.92 ^a	42.89 ± 10.12 ^{abc}	26.66 ± 5.23 ^{ab}
6-BAB	28.25 ± 2.82 ^a	55.26 ± 8.39 ^{ab}	429.00 ± 79.34 ^a	263.25 ± 27.27 ^a	49.59 ± 8.01 ^{ab}	29.14 ± 2.83 ^{ab}
Testigo	27.00 ± 2.2 ^{ab}	43.4 ± 6.65 ^{bc}	355.63 ± 83.23 ^{ab}	272.13 ± 23.81 ^a	49.75 ± 8.74 ^{ab}	28.47 ± 5.74 ^{ab}

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($\alpha = 0.05$)

En los resultados de peso fresco de hojas el tratamiento 6-BAP (429 g) demostró significativamente el mayor ($p < 0.05$) peso fresco de hojas, con valores similares con los otros tratamientos (Tabla 1), a excepción los tratamientos RM (329.63 g), FR (329.63 g) y AIA (344.88 g), que tuvieron pesos menores ($p < 0.05$). En cuanto al peso fresco del tallo (Tabla 1), el tratamiento FM+FR (273.13 g) fue el que mostró el mayor valor de los extractos, al igual que con los tres bioreguladores y el testigo, mientras que los demás tratamientos, a excepción de RM (226.50 g) y FR (229.75 g), tuvieron valores similares. En un estudio sobre el uso de diferentes concentraciones de extractos de algas como bioestimulantes en plantas de pepino (Mendez *et al.* 2023) observaron que los pesos frescos hojas oscilaron entre 352.84 – 453.84 g, valores que son comparables a los obtenidos en el presente estudio, y en el peso fresco de tallos se obtuvieron pesos que oscilaron entre 156.50 – 210.50 g, menores a los obtenidos en nuestro estudio.

Respecto al peso seco de hojas (Tabla 1), el mayor ($p < 0.05$) peso se observó con el tratamiento de AG (51.52 g), seguido en peso de los tratamientos FM (45.94 g), RM+FM (45.91 g), RM+FR (43.84 g), FM+FR (47.29 g), y RM+FM+FR (47.07 g), los tratamientos con menor peso fueron RM (38.27 g) y FR (41.37 g). El mayor peso seco de tallos (Tabla 1) fue obtenido con AG (31.61 g), siendo similar a todos los tratamientos con excepción de RM (24.68 g), FR (25.10 g), y RM+FM (26.44 g). Mientras que Mendez *et al.* (2023), utilizando extractos de algas reportaron valores de peso seco de hojas y tallo en pepino que oscilaron entre 27.75 – 32.83 g y 13.32 – 16.00 g, respectivamente, siendo pesos menores a los obtenidos con los extractos en esta investigación. Es importante señalar que los tratamientos con RM y FR, no tuvieron efecto bioactivo importante, pero al aplicarse en conjunto tuvieron aumentos significativos en peso, lo cual podría deberse a la sinergia de los compuestos que conforman los extractos.

Componentes rendimiento

El extracto de la mezcla de RM+FM+FR fue el más sobresaliente al estimular mayor número de frutos, con valores similares estadísticamente a los obtenidos con los biorreguladores AG y 6BAP, mayor peso de fruto y rendimiento por planta, similar al biorregulador AG (Tabla 2). En otro estudio en donde se aplicó Paclobutrazol, se obtuvieron 9.27 y 12 frutos por planta (Sudrajat *et al.* 2021). Número de frutos similar al obtenido en esta investigación. Los valores de peso de fruto por planta en esta investigación oscilaron entre 385.46 g y 444.99 g. Mientras que Ucan-Tucuch *et al.* (2023) reportaron valores de peso de frutos en una escala de 341.39 a 347.95, aplicando maltodextrina y nanopartículas de óxido de zinc. Estos valores son menores a los que se tuvieron en el presente estudio para las plantas tratadas con los extractos. Además, en plantas de pepino var. Centauro, tratadas con diferentes concentraciones de un extracto de algas, se observaron rendimientos de 0.959 a 1.82 kg planta⁻¹ (Mendez *et al.* 2023); y en plantas de pepino tratadas con AG y AIA, se tuvieron rendimientos menores a 4 kg planta⁻¹ (Hikosoka y Sugiyama 2020). Estos valores fueron notablemente menores a los obtenido de las plantas tratadas con los extractos, y particularmente con el tratamiento de RM+FM+FR, lo cual resalta que la combinación de los extractos utilizada en este estudio puede ser más efectiva en el rendimiento de frutos de pepino. Además, se ha identificado que el aumento en los rendimientos de las cosechas, están relacionadas con plantas sanas y fuertes ya que estas pueden producir un mayor número de frutos (Rengasamy *et al.* 2015). La efectividad de la mezcla de extractos de RM+FM+FR, para incrementar el número, peso por fruto y rendimiento de fruto por planta en pepino, podría atribuirse a la actividad sinergista de los componentes de los extractos que forman la mezcla, *R. muelleri*, contiene alto contenido de fenoles y compuestos de naturaleza, esterol, fenólica, alcohólica, flour y lupene (Jasso de Rodríguez *et al.* 2015), cuya estructura es base de los brasinoesteroides, ampliamente reconocidos como estimulantes del crecimiento vegetal (Li *et al.* 20), por otra parte, los extractos fenólicos de FR y FM se han identificado altos contenidos de fenoles totales y actividad antioxidante, además, en estas plantas se han identificado principalmente, compuestos flavonoides y ácidos fenólicos, uno de los compuestos que contienen es el ácido salicílico (Jasso de Rodríguez *et al.* 2017, 2022), este compuesto participa en diversos procesos fisiológicos tales como inducción a la floración, crecimiento de raíces y absorción de nutrientes y a nivel celular provoca la mitigación del estrés en la planta, e incrementa el rendimiento y calidad de sus frutos (Vázquez-Díaz *et al.* 2016).

Calidad del fruto

Longitud y diámetro de fruto

En los resultados de las mediciones de la longitud de los frutos (Tabla 3), el tratamiento de la combinación de extractos de RM+FR tuvo el mayor ($p < 0.05$) valor, mientras que para el diámetro ecuatorial, se observó el mayor valor con el tratamiento de FR. Sin embargo, el tratamiento de FR+FM tuvo un valor estadísticamente similar ($p > 0.05$) al del tratamiento con FR. En contraste, los menores valores de longitud y diámetro de los frutos se observaron con el tratamiento FM. Se observó que los valores de las longitudes con los tratamientos de los extractos variaron entre 22.46 y 24.40 cm, mientras que los diámetros ecuatoriales fueron de 49.57 a 53.87 mm. Estos valores han sido reportados para frutos de pepino var. Centauro, con tratamientos de algas, en donde se observaron longitudes de 21.51 a 23.11 y diámetros de 48.20 a 51.42 mm (Mendez *et al.* 2023). Se

puede notar que los tratamientos que tuvieron los valores más altos fueron con el extracto solo o combinado de *F. retinophylla*. Jasso de Rodríguez *et al.* (2023b) reportaron que los frutos de pimiento cosechados de plantas tratadas con extracto de *F. retinophylla* tuvieron los mayores diámetros ecuatoriales y polares, respecto a los demás tratamientos de extractos y bioreguladores.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en número de frutos por planta y m², peso de fruto y rendimiento por planta y por m² en plantas de pepino (*C. sativus* L.).

Tratamientos	No. frutos/planta	Peso de fruto (g)	Rendimiento (kg/planta)	No. Frutos/m ²
RM	9.00 ± 2.00 ^c	402.26 ± 25.55 ^a	3.64 ± 0.96 ^b	29.70 ± 6.6 ^c
FM	11.00 ± 1.41 ^{abc}	398.47 ± 64.79 ^a	4.43 ± 1.15 ^{ab}	36.3 ± 4.67 ^{abc}
FR	9.60 ± 0.89 ^{bc}	444.99 ± 52.94 ^a	4.27 ± 0.56 ^{ab}	31.68 ± 2.95 ^{bc}
RM+FM	11.4 ± 0.89 ^{abc}	395.97 ± 25.39 ^a	4.50 ± 0.27 ^{ab}	37.62 ± 2.95 ^{abc}
RM+FR	10.00 ± 1.73 ^{abc}	471.68 ± 56.88 ^a	4.67 ± 0.58 ^{ab}	33.00 ± 5.72 ^{abc}
FM+FR	10.40 ± 1.52 ^{abc}	413.82 ± 37.31 ^a	4.31 ± 0.81 ^{ab}	34.32 ± 5.00 ^{abc}
RM+FM+FR	11.80 ± 2.17 ^{ab}	429.96 ± 72.10 ^a	5.08 ± 1.21 ^a	38.94 ± 7.15 ^{ab}
AG	12.40 ± 1.95 ^a	397.33 ± 51.26 ^a	4.82 ± 1.19 ^a	40.92 ± 6.43 ^a
AIA	10.00 ± 1.22 ^{abc}	385.46 ± 46.62 ^a	4.03 ± 0.77 ^{ab}	33.00 ± 4.04 ^{abc}
6-BAB	12.20 ± 2.17 ^a	399.87 ± 34.59 ^a	4.64 ± 0.37 ^{ab}	40.26 ± 7.15 ^a
Testigo	9.20 ± 2.59 ^c	385.76 ± 40.12 ^a	3.61 ± 0.93 ^b	30.36 ± 8.54 ^c

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tabla 3. Efecto de los tratamientos en variables de calidad de fruto en pepino

Tratamientos	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Firmeza (Kgf cm ⁻²)	SST (°Brix)	pH
RM	23.2 ± 0.8 ^{abc}	51.58 ± 2.12 ^{ab}	7.57 ± 0.48 ^{abc}	3.13 ± 0.18 ^{abc}	5.63 ± 0.04 ^{abc}
FM	22.47 ± 1.35 ^c	49.58 ± 5.71 ^b	7.72 ± 0.44 ^a	3.07 ± 0.15 ^{abc}	5.75 ± 0.19 ^a
FR	23.9 ± 0.94 ^{ab}	53.87 ± 2.27 ^a	7.69 ± 0.35 ^{ab}	2.87 ± 0.38 ^{cd}	5.56 ± 0.06 ^c
RM+FM	23.2 ± 0.73 ^{abc}	51.25 ± 1.39 ^{ab}	7.28 ± 0.35 ^{abcd}	2.73 ± 0.15 ^d	5.6 ± 0.06 ^{bc}
RM+FR	24.4 ± 1.16 ^a	53.62 ± 2.17 ^{ab}	7.57 ± 0.37 ^{abc}	3 ± 0 ^{bcd}	5.61 ± 0.06 ^{abc}
FM+FR	23.8 ± 0.69 ^{ab}	52.02 ± 1.5 ^{ab}	7.58 ± 0.24 ^{abc}	2.93 ± 0.15 ^{cd}	5.62 ± 0.02 ^{abc}
RM+FM+FR	23.2 ± 1.12 ^{abc}	51.64 ± 4.36 ^{ab}	7.24 ± 0.41 ^{abc}	3.33 ± 0.24 ^a	5.72 ± 0.17 ^{ab}
AG	19.19 ± 0.73 ^{abc}	49.81 ± 1.95 ^{ab}	6.88 ± 0.28 ^d	3 ± 0.24 ^{abc}	5.66 ± 0.07 ^a
AIA	23 ± 0.62 ^{abc}	50.54 ± 1.95 ^{ab}	7.1 ± 0.45 ^{cd}	3 ± 0.24 ^{abc}	5.65 ± 0.11 ^a
6-BAP	23.03 ± 0.82 ^{abc}	50.63 ± 1.57 ^{ab}	7.14 ± 0.58 ^{bcd}	3.07 ± 0.15 ^{abc}	5.71 ± 0.05 ^a
Testigo	23.1 ± 0.91 ^{abc}	50.55 ± 2.66 ^{ab}	7.17 ± 0.31 ^{bcd}	3.27 ± 0.15 ^{ab}	5.67 ± 0.04 ^{abc}

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Firmeza del fruto

La mayor ($p < 0.05$) firmeza del fruto se obtuvo con el tratamiento de FM (Tabla 3). Por otra parte, en relación con los bioreguladores comerciales, se observaron los menores valores, particularmente con AG, con quien obtuvo estadísticamente la menor ($p < 0.05$). Los extractos de RM, FM y FR han demostrado mantener la firmeza en frutos de pimiento morrón (Jasso de Rodríguez *et al.* 2023b),

observándose que los extractos mantienen valores similares al del tratamiento control. Lo anterior indica, que la aplicación de los extractos como bioestimulantes no tiene efectos negativos en la firmeza de los frutos e incluso actúan mejor que el tratamiento con AG, manteniendo los parámetros de calidad dentro de los rangos deseables (González-García *et al.* 2022). Por otra parte, los frutos de las plantas tratadas con la combinación de RM+FM+FR tuvieron el mayor ($p < 0.05$) contenido de SST (Tabla 3), con valores similares a RM, FM, y los biorreguladores. Los rangos de SST fueron de 2.73 – 3.33 y 3.00 – 3.03 para los tratamientos de extractos y biorreguladores, respectivamente.

SST del fruto

Se puede observar, que con los tratamientos de los extractos RM, FM, FR+FM y RM+FM+FR se obtuvieron valores similares de SST a los del testigo. Resultados similares fueron obtenidos con plantas tratadas con algas. Mientras que Mendez *et al.* (2023) reportaron valores de SST entre 2.15 y 3.12, con la aplicación de diferentes concentraciones de extracto de algas. Mientras que Shabani *et al.* (2023), obtuvieron SST de 3.04 con aplicaciones foliares de un extracto de *Sargassum boveanum*. Estos resultados sugieren que la aplicación de los extractos puede mejorar el contenido de SST, teniendo una mayor influencia que los bioestimulantes comerciales y de algas.

pH del fruto

Respecto a pH, estos variaron entre 5.60 y 5.75, con los valores más altos obtenidos con los tratamientos de FM, la mezcla RM+FM+FR y los tres biorreguladores, mientras que el menor fue con el tratamiento de FR y el testigo. Se han reportado valores de pH para pepinos cosechados y al inicio del almacenamiento de 5.6 a 6 (Moreno-Velázquez *et al.* 2013). Por otra parte, Zambrano-Zaragoza *et al.* (2021), reportaron valores de pH entre 5.26 y 5.35 en frutos de pepino con y sin tratamiento de UV, demostrando valores similares entre los tratamientos. Además, González-García *et al.* (2022) reportaron pH entre 5 y 6 para frutos de pepino recién cosechados de plantas tratadas con nanopartículas de silicón y silicato de potasio. Se puede notar que estos valores fueron similares a los rangos obtenidos en este estudio, por lo que se observa que los tratamientos de los extractos mantienen el rango de calidad de pH que ha sido reportado para los frutos de pepino.

Los extractos de plantas del semidesierto bioestimularon el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del pepino (*C. sativus* L.) híbrido Centauro F1. La combinación de RM+FM+FR mostró la mayor actividad entre los extractos, estimulando rendimiento por planta y calidad de pepino, con valores comparables y/o superiores a los biorreguladores comerciales. Los extractos de plantas del semidesierto actúan como bioestimulantes orgánicos eficaces, atribuible a los compuestos polifenólicos, y a la sinergia entre la matriz de compuestos que contienen.

AGRADECIMIENTOS

El autor Iván Cuevas-Julio agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo de una beca de maestría (CVU 1182887), para realizar estudios en el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción, en la UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. Los autores agradecen a T.A. María Guadalupe Moreno Esquivel, T.A. Edith E.

Chaires Colunga y C. Juan José Valenzuela Cabrera, del Laboratorio de Fitoquímica de la UAAN, por su invaluable asistencia.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Adame J, Adame H (2000) Plantas curativas del Noreste Mexicano. Ediciones Castillo. Monterrey, NL, México. 347p.
- Casaca AD (2005) El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Guías tecnológicas de drutas y vegetales. <http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/pepino.pdf>. Fecha de consulta: 16 de mayo del 2024.
- Carrillo-Lomelí DA, Jasso de Rodríguez D, Moo-Huchin VM, Ramón-Canul L, Rodríguez-García R, González-Morales S, Villarreal-Quintanilla JA, Peña-Ramos FM (2022) How does *Flourensia microphylla* extract affect polyphenolic composition, antioxidant capacity, and antifungal activity? *Industrial Crops and Products* (186): e115248. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115248>.
- Cristofano F, El-Nakheel C, Rousphael Y (2021) Biostimulant substances for sustainable agriculture: origin, operating mechanisms and effects on cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species. *Biomolecules* 11: 1103. <https://doi.org/10.3390/biom11081103>
- Drobek M, Frąc M, Cybulska J (2019) Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress-A Review. *Agronomy* (9): 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- González-García Y, Flores-Robles V, Cadenas-Pliego G, Benavides-Mendoza A, De La Fuente MC, Sandoval-Rangel A, Juárez-Maldonado A (2022) Application of two forms of silicon and their impact on the postharvest and the content of bioactive compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. *Biocell* 46(11): 2497. [10.32604/biocell.2022.021861](https://doi.org/10.32604/biocell.2022.021861)
- Hikosaka S, Sugiyama N (2015) Effects of exogenous plant growth regulators on yield, fruit growth, and concentration of endogenous hormones in gynoecious parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). *The Horticulture Journal* 84(4): 342-349. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-051>
- Jasso de Rodríguez D, Trejo-González FA, Rodríguez-García R, Díaz-Jiménez MLV, Sáenz-Galindo A, Hernández-Castillo DF, Villarreal-Quintanilla JA, Peña-Ramos FM (2015) Antifungal activity *in vitro* of *Rhus muelleri* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Industrial Crops and Products* 75: 150-58. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.048>.
- Jasso de Rodríguez D, Salas-Méndez EDJ, Rodríguez-García R, Hernández-Castillo FD, Díaz-Jiménez MLV, Sáenz-Galindo A, González-Morales S, Flores-López ML, Villarreal-Quintanilla JA, Peña-Ramos FM, Carrillo-Lomelí DA (2017) Antifungal activity *in vitro* of ethanol and aqueous extracts of leaves and branches of *Flourensia* spp. against postharvest fungi. *Industrial Crops and Products* 107: 499-508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.054>.
- Jasso de Rodríguez D, Alonso-Cuevas CF, Rodríguez-García R, Ramírez H, Díaz-Jiménez L, Villarreal-Quintanilla JA, Juárez-Maldonado A (2020) Extractos de plantas del semidesierto en la inducción del crecimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(1): 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a7nl.2342>.

- Jasso de Rodriguez D, Victorino-Jasso MC, Rocha-Guzman NE, Moreno-Jimenez MR, Diaz-Jimenez L, Rodriguez- Garcia R, Villarreal-Quintanilla JA, Pena-Ramos FM, Carrillo-Lomeli DA, Genisheva ZA, Flores-Lopez ML (2022) *Flourensia retinophylla*: An outstanding plant from northern Mexico with antibacterial activity. Industrial Crops and Products 185: e115120. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115120>.
- Jasso de Rodríguez D, Torres-Moreno H, López-Romero JC, Vidal-Gutiérrez M, Villarreal-Quintanilla JA, Carrillo-Lomelí DA, Robles-Zepeda RE, Vilegas W (2023a) Antioxidant, anti-inflammatory, and antiproliferative activities of *Flourensia* spp. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 47: e102552. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102552>.
- Jasso de Rodríguez D, Rocha-Rivera MF, Ramírez-Rodríguez H, Villarreal-Quintanilla JA, Díaz-Jiménez LV, Rodríguez-García R, Carrillo-Lomelí DA (2023b) Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): 1-12. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3559>
- Li S, Zheng H, Lin L, Wang F, Sui N (2021) Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. Plant Growth Regulation 93: 29-38. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7>
- Loáciga-Arias JC, Monge-Pérez JE, Loría-Coto M (2023) Efecto de dos porcentajes de drenaje y de un bioestimulante en pepino (*Cucumis sativus*) producido bajo invernadero. Tecnología en Marcha 36 (4) 31-44. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6298>
- López-Morales ML, Leos-Escobedo L, Alfaro-Hernández L, Morales-Morales AE (2022) Impacto de abonos orgánicos asociados con micorrizas sobre rendimiento y calidad nutraceútica del pepino. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 13(5): 785-798. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2868>
- Mendez A, Martinez S, Leal A, Hernández A, García J, Sanchez M (2023) Synergism of microorganisms and seaweed extract on vegetative growth, yield and quality of cucumber fruit. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 51(3): 12888-12888. <https://doi.org/10.15835/nbha51312888>
- Moreno-Velázquez D, Cruz-Romero W, García-Lara E, Ibañez-Martínez A, Barrios-Díaz JM, Barrios-Díaz B (2013) Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(6): 909-920.
- Ramírez H, Hoad GV, Benavides A, Rangel E (2001) Gibberellins in apple seeds and the transport of [3H]-GA4. Revista de la Sociedad Química de México 45(2): 47-50.
- Rengasamy KRR, Kulkarni MG, Stirk WA, Van Staden J (2015) Eckol - a new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. Journal of Applied Phycology 27: 581-587. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0337-z>
- SIAP (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 16 de mayo del 2024.
- Shabani E, Ansari NA, Favezizadeh MR (2023) Plant growth bio-stimulants of seaweed extract (*Sargasum boveanum*): Implications towards sustainable production of cucumber. Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences 33(3): 478-490. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1288078>
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15: 134-154.
- Sudrajat, A, Frasetya B, Daniswara FG (2021) Application of paclobutrazol and electrical conductivity value of nutrient solutions to improve yield and quality *Cucumis sativus* L. var Japanese on the hydroponic system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1098: e052003. [10.1088/1757-899X/1098/5/052003](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/5/052003)
- Ucan-Tucuch O, Betancourt-Galindo R, Juárez-Maldonado A, Sánchez-Vega M, Sandoval-Rangel A, Méndez-López A (2023) Efecto de maltodextrina y nanopartículas de óxido de zinc sobre biomasa y rendimiento en pepino. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(NEIII): e3699. <https://doi.org/10.19136/era.a10nNEIII.3699>

- Vázquez-Díaz DA, Salas-Pérez L, Preciado-Rangel P, Segura-Castruita MA, González-Fuentes JA, Valenzuela-García JR (2016) Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutraceutica de frutos de tomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 17: 3405-3414.
- Vega-Celedón, P, Canchignia-Martínez H, González M, Seeger M (2016) Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. Cultivos Tropicales 37: 33-39. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>.
- Zambrano-Zaragoza ML; Quintanar-Guerrero D, González-Reza RM, Cornejo-Villegas MA, Leyva-Gómez G, Urbán-Morlán Z (2021) Effects of UV-C and edible nano-coating as a combined strategy to preserve fresh-cut cucumber. Polymers 13: e3705. <https://doi.org/10.3390/polym13213705>