

## Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón

### Plant extracts as biostimulants of growth, yield and quality of fruit in bell pepper

Diana Jasso de Rodríguez<sup>1\*</sup> ,  
Martín Francisco Rocha-Rivera<sup>1</sup> ,  
Homero Ramírez-Rodríguez<sup>1</sup> ,  
José Ángel Villarreal-Quintanilla<sup>1</sup> ,  
Lourdes Virginia Díaz-Jiménez<sup>2</sup> ,  
Raúl Rodríguez-García<sup>1</sup> ,  
Dennise Anahí Carrillo-Lomelí<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Centro 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

#### Artículo científico

Recibido: 06 de diciembre 2022

Aceptado: 02 de mayo 2023

**Como citar:** Jasso de Rodríguez D, Rocha-Rivera MF, Ramírez-Rodríguez H, Villarreal-Quintanilla JA, Díaz-Jiménez LV, Rodríguez-García R, Carrillo-Lomelí DA (2023) Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3559. DOI: 10.19136/era.a10n2.3559

**RESUMEN.** El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cuatro extractos metanólicos de plantas del Semidesierto del Noreste Mexicano: *Rhus muelleri*, *R. virens*, *Flourensia microphylla* y *F. retinophylla*, como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón, comparados con los biorreguladores ácido giberélico, ácido indolacético y 6-bencilaminopurina. Las dosis utilizadas de extractos y biorreguladores fueron de 75 mg L<sup>-1</sup>, aplicándose al trasplante y, a los 33 y 46 días después del trasplante (DDT). Además, los extractos también se aplicaron a los 17 y 96 DDT. Las variables evaluadas en las plantas fueron crecimiento longitudinal y diámetro de tallo, materia seca total, longitud y volumen de raíz, número de frutos y rendimiento. En los frutos se evaluaron peso, diámetros longitudinal y ecuatorial, volumen, firmeza, acidez titulable, sólidos solubles totales (SST), contenido de fenoles totales, antocianinas, licopeno y vitamina C; así como peso seco de semillas. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y 12 repeticiones. El extracto de *F. retinophylla* promovió mayor peso de frutos por planta (212.9 g), volumen de fruto (404.2 cm<sup>3</sup>) y rendimiento (1.57 kg planta<sup>-1</sup>). Además, en frutos se observaron incrementos en contenido de vitamina C (100.1 mg 100 g<sup>-1</sup>) y SST (8.6 °Brix) con *F. microphylla* y *R. muelleri*, respectivamente. Los resultados fueron estadísticamente iguales o superiores a los de los biorreguladores. En general, los extractos promovieron mayor crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de pimiento morrón var. Cannon, que los biorreguladores.

**Palabras clave:** *Flourensia microphylla*, *Flourensia retinophylla*, promotor de crecimiento, *Rhus muelleri*, *Rhus virens*.

**ABSTRACT.** The objective of this study was to evaluate the effect of four methanolic plant extracts from the Northeast Mexican Semidesert: *Rhus muelleri*, *R. virens*, *Flourensia microphylla* and *F. retinophylla*, as biostimulants for growth, yield and fruit quality in bell pepper; compared with the bioregulators gibberellic acid, indoleacetic acid and 6-benzylaminopurine. The dose utilized of extracts and bioregulators was 75 mg L<sup>-1</sup>, applying them at transplant and, at 33 and 46 days after transplant (DAT). Besides, the extracts were also applied at 17 and 96 DAT. The evaluated variables in plants were longitudinal growth and stem diameter, total dry matter, root length and volume, number of fruits and yield. In fruits were evaluated weight, longitudinal and equatorial diameters, volume, firmness, titratable acidity, total soluble solids (TSS), total phenolic content, anthocyanins, lycopene and vitamin C; as well as dry weight of seeds. The experiment was established under a completely randomized design with eight treatments and 12 repetitions. The *F. retinophylla* extract promoted higher fruit weight per plant (212.9 g), fruit volume (404.2 cm<sup>3</sup>) and yield (1.57 kg plant<sup>-1</sup>). Moreover, in fruits were observed increments on vitamin C content (100.1 mg 100 g<sup>-1</sup>) and TSS (8.6 °Brix) with *F. microphylla* and *R. muelleri*, respectively. These results were statistically equals or superior to those of bioregulators. In general, the extracts promoted a higher growth, yield and fruit quality of bell pepper var. Cannon, than the bioregulators.

**Key words:** *Flourensia microphylla*, *Flourensia retinophylla*, growth promoter, *Rhus muelleri*, *Rhus virens*.

## INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de pimiento morrón (*Cap-sicum annuum* L.) ocupó el cuarto lugar de exportación de productos agrícolas en fresco (SIAP 2021). Durante el año 2021 la producción de este cultivo en campo y en agricultura protegida (invernadero, malla sombra y macro túnel) fue de 567 350.02 toneladas (t), en una superficie cosechada de 7 200.46 hectáreas (ha), con rendimiento promedio nacional de 78.79 t ha<sup>-1</sup>, y valor de la producción de 7 665.13 millones de pesos (SIAP 2022). Además, México destacó como un importante productor de pimiento morrón orgánico, alcanzando una producción anual de 3 780 t (SADER 2019).

Actualmente, bajo el enfoque de una agricultura sostenible aplicada a sistemas de producción en los cultivos, se utilizan nuevas técnicas de manejo amigables con el medio ambiente y con la salud humana (Prasad et al. 2019). Dentro de las técnicas mencionadas anteriormente, se encuentra el uso de bioestimulantes, en la cual se aplican sustancias o microorganismos que tienen la capacidad de mejorar la absorción y asimilación de nutrientes en las plantas, así como tolerancia al estrés, mejorando el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos, muy independiente al contenido de nutrientes (Du-Jardin 2015. Paradikovic et al. 2018). El uso de bioestimulantes en pimiento morrón, como ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos en la germinación de semilla y emergencia de plántulas, mostraron mayor germinación y emergencia en comparación al control, sobresaliendo el ácido húmico. Además de que estos últimos también promovieron mayor altura, diámetro de tallo y de fruto, así como, número y peso de frutos por planta (Reyes-Pérez et al. 2021).

Por otra parte, los extractos obtenidos de las plantas contienen metabolitos secundarios como fenoles, flavonoides, cumarinas y taninos, entre otros, los cuales pueden ser considerados para usarse como bioestimulantes (Rodríguez-Castro 2020). Se han realizado diversos estudios con extractos de plantas y su bioactividad como bioestimulantes. Al respecto, Tanase et al. (2011) estudiaron la apli-

cación de extractos polifenólicos de la corteza de abeto (*Picea abies*) en *Glycine max* L. y girasol, observando que se mejora la capacidad de germinación de las semillas. Por otra parte, los extractos polifenólicos de semilla de uva, estimularon el alargamiento de la raíz en avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*), además de la acumulación de biomasa (Ignat et al. 2011). En el estado de Coahuila, ubicado en las zonas semidesérticas del noreste del país, crecen una gran variedad de plantas silvestres, entre ellas *Rhus muelleri* (Jasso-de-Rodríguez et al. 2015), *Flourensia microphylla* y *F. retinophylla* (Jasso-de-Rodríguez et al. 2017), en las cuales se han determinado altos contenidos de fenoles totales y actividad antioxidante. Además, en estas plantas se han identificado principalmente, compuestos flavonoides y ácidos fenólicos (Carrillo-Lomelí et al. 2022, Jasso-de-Rodríguez et al. 2023). El extracto de *R. muelleri* inhibió a *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* a CMI<sub>50</sub> de 3 363 mg L<sup>-1</sup> y a CMI<sub>90</sub> de 11 793 mg L<sup>-1</sup>, es una alternativa para utilizarse como fungicida botánico (Jasso-de-Rodríguez et al. 2015). Los extractos de *F. microphylla* y *F. retinophylla* también presentan efecto antiproliferativo en células A549 de cáncer de pulmón, así como un elevado contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Jasso-de-Rodríguez et al. 2023). Mientras que *F. retinophylla* también presenta actividad antibacteriana sobresaliente, en la inhibición del crecimiento de 6 especies de bacterias patógenas que causan infección del tracto urinario (Jasso-de-Rodríguez et al. 2022). Por otra parte, extractos de *Rhus trilobata*, *R. muelleri*, *F. microphylla*, *F. retinophylla* y *Cucurbita foetidissima*, evaluados como bioestimulantes en plantas de tomate saladette, comparados con los biorreguladores AIA, AG y 6-BAP, indican que los extractos incrementan la longitud y diámetro de tallo peso seco de hojas, con resultados similares al biorregulador 6 BAP, el extracto de *R. muelleri* mostrando la mayor efectividad en promover el crecimiento y producción de fruto de tomate (Jasso-de-Rodríguez et al. 2020). Basado en las investigaciones anteriormente citadas, es de interés ampliar el uso de los extractos de plantas del semidesierto como bioestimulantes en otros cultivos

hortícolas, por lo cual, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto bioestimulante de los extractos de cuatro especies de plantas del semidesierto, como promotores de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón, en comparación con tres biorreguladores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y establecimiento del experimento

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, durante el período verano-otoño 2021, en un invernadero tipo capilla de alta tecnología. El material vegetal utilizado fue pimiento morrón variedad Cannon, tipo blocky, que maduran de color verde a rojo. Las semillas se sembraron en una charola de poliestireno de 128 cavidades. A los 42 días después de la siembra (DDS), cuando alcanzaron una altura promedio de 12 cm y con al menos 5 hojas verdaderas, las plantas se trasplantaron a macetas de 15 L, las cuales contenían 12 L de sustrato peat moss y perlita (50/50%, v/v). Las macetas se distribuyeron a una distancia de 50 cm entre plantas y 75 cm entre hileras. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y 12 repeticiones en cada tratamiento, lo que representó 96 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en cuatro extractos de plantas: *Rhus muelleri* (RM), *R. virens* (RV), *Flourensia microphylla* (FM) y *F. retinophylla* (FR); y tres biorreguladores: ácido giberélico (AG), ácido indolacético (AIA) y 6-bencilaminopurina (6-BAP); además de un control (CTRL).

### Obtención de extractos bioestimulantes

Los extractos de las plantas se obtuvieron de acuerdo con la técnica reportada por Ramírez *et al.* (2001). De la muestra seca y molida de las hojas se tomaron 10 g que se colocaron en un matraz erlenmeyer, al que se le agregaron 500 mL de metanol al 80% y se mantuvieron por 24 h en congelación a -15 °C, para luego filtrar el extracto usando papel Whatman # 1, al filtrado se le agregaron 500 mL de

metanol al 100% y se colocó durante 4 h en congelación a -15 °C, para filtrar de nuevo. Luego de repetir el proceso, se mezclaron los filtrados para luego evaporar en un rotavapor (Yamato Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan), a 50 °C. La purificación de la muestra se realizó mediante una cápsula de silica gel Sep Pack C18 para obtener el extracto final que se utilizó en el experimento. Los extractos y biorreguladores se prepararon a concentración de 75 mg L<sup>-1</sup>.

### Aplicación de tratamientos, riego y fertilización

Los tratamientos se aplicaron entre las 8:00 y 10:00 h, asperjándose a punto de goteo en el follaje de la planta. Los extractos se aplicaron en cinco ocasiones: al trasplante (42 DDS), en segunda bifurcación a los 17 días después del trasplante (DDT), en floración (33 DDT), en fructificación (46 DDT) y en cosecha (94 DDT). Los biorreguladores fueron aplicados en tres ocasiones: al trasplante (42 DDS), en floración (33 DDT) y en fructificación (46 DDT). El riego se realizó diariamente por medio de un gotero en cada maceta, colocado cerca del tallo. La fertilización se efectuó desde los cuatro DDT, utilizando la solución nutritiva (SN) de Steiner (1961), la cual fue ajustada a un pH de 6.0 - 6.5 con ácido sulfúrico al 98% y ácido fosfórico al 85%, y una conductividad eléctrica (CE) menor a 2.5 mS cm<sup>-1</sup>. La SN fue suministrada en diferentes dosis, según la etapa fenológica del cultivo. Se permitió un drenado del 20 al 25%.

### Evaluación del crecimiento de la planta

El crecimiento longitudinal de tallo (cm) se midió con un flexómetro, desde los 3 cm de la base hasta el meristemo apical; mientras que el diámetro (mm) fue medido con un vernier digital (Stainless Hardened) (Moreno-Pérez *et al.* 2018). Las mediciones se realizaron cada 15 días a partir del trasplante. A los 187 DDT, se cosechó la parte aérea (hojas y tallo), y la parte basal (raíz), se colocaron en una estufa de secado (MAPSA HDT-18) por 72 horas a 65 °C, para eliminar humedad de los tejidos, y determinar la materia seca total (MST) en gramos, con una báscula digital (Mettler PC 2000). Previo al secado se determinó la longitud (cm) y el volumen de la raíz (cm<sup>3</sup>), sumergiéndola en una pro-

beta graduada, obteniendo el valor por diferencia de volumen (Hernández-Montiel *et al.* 2020).

### Evaluación del rendimiento

La cosecha de frutos se inició a los 84 DDT, cuando los frutos alcanzaron una madurez comercial con al menos un 90% de pigmentación roja. El número de frutos por planta se contabilizó, y cada fruto se pesó individualmente en una báscula digital (Mettler PC 2000). La sumatoria del peso individual de cada fruto representó el rendimiento por planta ( $\text{kg planta}^{-1}$ ).

### Evaluación de calidad de fruto

Durante la cosecha, se evaluó la calidad del fruto, determinando los valores de: diámetros longitudinal (DLF) y ecuatorial de fruto (DEF) con un vernier digital (Stainless Hardened; mm); volumen por medio de la diferencia de valores en una probeta ( $\text{cm}^3$ ); firmeza en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $\text{kgf cm}^{-2}$ ), utilizando un penetrómetro con puntilla de 8 mm (QA supplies, Norfolk, VA, USA); acidez titulable (AOAC 1990) y; sólidos solubles totales (SST) en grados Brix ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) con un refractómetro (ATAGO, Co. Ltd., Japan). El peso seco de semillas por fruto (PSS), se determinó siguiendo la técnica de Jiménez *et al.* (2018). Además, se determinaron el contenido de fenoles totales (CFT) por el método colorimétrico (Heimler *et al.* 2006), antocianinas (AOAC 1990), licopeno (Arias *et al.* 2000) y, contenido de vitamina C (Gutierrez *et al.* 2007).

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos, se sometieron a un análisis de varianza (ANVA), con la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), y se analizaron en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

## RESULTADOS

### Variables de crecimiento de la planta

Para la variable crecimiento longitudinal de tallo de plantas de pimiento morrón, se encontró diferencia ( $p < 0.01$ ) entre tratamientos a los 187

DDT (Tabla 1). El mayor crecimiento longitudinal se presentó con el biorregulador AG (145.5 cm), con valor similar a los de los extractos FR (119.3 cm) y RV (110.9 cm), así como a los de AIA (111.3 cm) y el CTRL (116.3 cm). Por otra parte, se observó que las plantas tratadas con los extractos RM, FM y el biorregulador 6-BAP presentaron el menor crecimiento longitudinal de tallo. Respecto al diámetro de tallo (Tabla 1), se observó que el mayor valor fue obtenido con el tratamiento de AIA (12.2 mm). Sin embargo, se observaron valores similares entre el tratamiento de AIA con los tratamientos de los extractos RV (10.0 mm) y FR (11.5 mm), así como al de AG (11.3 mm), 6-BAP (10.3 mm) y el CTRL (10.5 mm). En cuanto a MST (Tabla 2), el valor más alto se observó con el tratamiento AG (50.4 g), seguido de los extractos FR (41.9 g), RV (39.1 g) y RM (37.2 g), AIA (40.8 g), y el CTRL (42.5 g), que fueron estadísticamente similares a AG. Los menores valores se observaron con 6-BAP y FM. En el volumen de raíz (Tabla 2), se notaron diferencias ( $p < 0.01$ ) entre tratamientos, observando que el valor más alto se obtuvo con el AG ( $48.2 \text{ cm}^3$ ), similar a los obtenidos con FR ( $41.1 \text{ cm}^3$ ), RV ( $40.3 \text{ cm}^3$ ), AIA ( $40.3 \text{ cm}^3$ ), 6-BAP ( $30.3 \text{ cm}^3$ ), y el CTRL ( $39.3 \text{ cm}^3$ ), los cuales fueron estadísticamente iguales entre ellos. En cuanto a los extractos RM ( $28 \text{ cm}^3$ ) y FM ( $26.8 \text{ cm}^3$ ) fueron iguales entre sí, presentando el menor volumen de raíz.

**Tabla 1.** Efectos de los tratamientos en el crecimiento longitudinal y diámetro del tallo a los 187 días después del trasplante (DDT).

Tratamientos	Longitud de tallo (cm)	Diámetro de tallo (mm)
RM	104.5 <sup>b</sup>	9.9 <sup>b</sup>
RV	110.9 <sup>ab</sup>	10.0 <sup>ab</sup>
FM	97.7 <sup>b</sup>	9.6 <sup>b</sup>
FR	119.3 <sup>ab</sup>	11.5 <sup>ab</sup>
AG	145.5 <sup>a</sup>	11.3 <sup>ab</sup>
AIA	111.3 <sup>ab</sup>	12.2 <sup>a</sup>
6-BAP	110.1 <sup>b</sup>	10.3 <sup>ab</sup>
CTRL	116.3 <sup>ab</sup>	10.5 <sup>ab</sup>
Pr > F	0.01	0.01
C.V. (%)	19.04	12.62

Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ ). CV: Coeficiente de variación.

### Variables de rendimiento

En relación con el número de frutos por planta,

no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 3), variando el número de frutos de 5.0 a 7.4. En cuanto a peso de fruto por planta (Tabla 3), se presentaron diferencias ( $p < 0.01$ ) entre tratamientos. Los frutos tratados con FR presentaron el mayor peso (212.9 g), con valores similares a los de RV (192.6 g) y el control (196.8 g), los cuales fueron estadísticamente iguales entre ellos. Los menores pesos se observaron con RM, FM, AG, AIA y 6-BAP. Respecto al rendimiento (Tabla 3), FR presentó la mayor bioestimulación para producir el más alto rendimiento, con  $1.58 \text{ kg planta}^{-1}$ , superando a los biorreguladoras, extractos y CTRL.

**Tabla 2.** Efecto de los extractos de plantas del semidesierto en variables agronómicas de pimiento morrón.

Tratamientos	MST* (g)	Volumen de raíz ( $\text{cm}^3$ )
RM	37.2 <sup>ab+</sup>	28.0 <sup>b</sup>
RV	39.1 <sup>ab</sup>	40.3 <sup>ab</sup>
FM	29.8 <sup>b</sup>	26.8 <sup>b</sup>
FR	41.9 <sup>ab</sup>	41.1 <sup>ab</sup>
AG	50.4 <sup>a</sup>	48.2 <sup>a</sup>
AIA	40.8 <sup>ab</sup>	40.3 <sup>ab</sup>
6-BAP	34.3 <sup>b</sup>	30.3 <sup>ab</sup>
CTRL	42.5 <sup>ab</sup>	39.3 <sup>ab</sup>
$p < 0.05$	0.0016	0.0077
CV (%)	20.46	30.43

\*MST: materia seca total de la planta. + Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). CV: coeficiente de variación.

**Tabla 3.** Efecto de los extractos de plantas del semidesierto en variables de rendimiento en pimiento morrón.

Tratamientos	Núm. de frutos (frutos $\text{planta}^{-1}$ )	Peso de fruto por planta (g)	Rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ )
RM	6.4 <sup>a+</sup>	190.4 <sup>b</sup>	1.22 <sup>bc</sup>
RV	6.6 <sup>a</sup>	192.6 <sup>ab</sup>	1.28 <sup>b</sup>
FM	5.8 <sup>a</sup>	190.0 <sup>b</sup>	1.11 <sup>cde</sup>
FR	7.4 <sup>a</sup>	212.9 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>
AG	6.4 <sup>a</sup>	186.3 <sup>b</sup>	1.19 <sup>bcd</sup>
AIA	5.9 <sup>a</sup>	187.2 <sup>b</sup>	1.15 <sup>cde</sup>
6-BAP	5.6 <sup>a</sup>	190.4 <sup>b</sup>	1.08 <sup>de</sup>
CTRL	5.0 <sup>a</sup>	196.8 <sup>ab</sup>	0.98 <sup>e</sup>
$p < 0.05$	0.1671	0.0059	0.0001
CV %	33.1	8.71	8.76

+ Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). CV: coeficiente de variación.

## VARIABLES DE CALIDAD DE FRUTO

En el análisis de DLF se presentaron diferencias ( $p < 0.01$ ) entre los tratamientos aplicados en pimiento morrón (Tabla 4). Se observó que los valores obtenidos con RM (88.4 mm), RV (86.2 mm) y FR (87.2 mm) fueron estadísticamente iguales y más altos que los obtenidos con AG, AIA y 6-BAP. Para el DEF (Tabla 4), los valores más altos se observaron con FR y RM. Por otra parte, el mayor volumen de fruto (Tabla 4), se obtuvo con FR, así como el resto de los extractos presentaron los más altos valores, superiores al AG y AIA, e iguales al 6-BAP. Para la variable PSS (Tabla 4), el mayor peso se observó con FR y AIA, los cuales tuvieron valores estadísticamente iguales. En la variable de firmeza (Tabla 4), no se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ ). En cuanto a la acidez titulable (Tabla 4), se observó que, en general, el menor porcentaje de acidez fue obtenido con los extractos, siendo estadísticamente inferiores a los de los biorreguladores y el CTRL. Para los SST (Tabla 5), el valor más alto se presentó con RM. Respecto al CFT (Tabla 5), los frutos tratados con extractos presentaron valores similares al 6-BAP, y menores que AG, AIA y el CTRL. En relación con el contenido de antocianinas (Tabla 5), se observó en general, que los frutos tratados con extractos presentaron contenidos mayores que los tratados con AG y AIA. Por otra parte, en el contenido de licopeno (Tabla 5), se observó que, con FR, los frutos presentaron un valor superior al de los otros extractos, y con valores similares a los tratados con AIA, 6-BAP, pero inferior al AG. Además, el mayor contenido de vitamina C (Tabla 5), se observó con FM, seguido de FR, con un valor similar al de los tratados con 6-BAP.

## DISCUSIÓN

### VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA

Las estimulaciones en la elongación de la biomasa en la planta, así como la división celular han sido reportadas con el uso de giberelinas y auxinas como el AIA (Srivastava y Srivastava 2007, Vega-Celedón *et al.* 2016). Por otra parte, el 6-BAP (citoquinina), además de promover la división celular, ha sido reportado por permitir el establecimiento de

**Tabla 4.** Efectos de los extractos de plantas del semidesierto en variables de calidad de fruto en pimiento morrón.

Tratamientos	DLF* (mm)	DEF* (mm)	VDF* (cm <sup>3</sup> )	PSS* (g fruto <sup>-1</sup> )	Firmeza (kgf cm <sup>-2</sup> )	Ac. Tit.* (%)
RM	88.4 <sup>ab+</sup>	88.6 <sup>a</sup>	345.7 <sup>a</sup>	1.1 <sup>ab</sup>	7.4 <sup>a</sup>	0.526 <sup>c</sup>
RV	86.2 <sup>ab</sup>	84.3 <sup>ab</sup>	363.5 <sup>a</sup>	1.1 <sup>ab</sup>	6.6 <sup>a</sup>	0.494 <sup>c</sup>
FM	83.3 <sup>abc</sup>	83.2 <sup>ab</sup>	378.5 <sup>a</sup>	1.1 <sup>ab</sup>	7.3 <sup>a</sup>	0.526 <sup>c</sup>
FR	87.2 <sup>ab</sup>	87.0 <sup>a</sup>	404.2 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	0.542 <sup>bc</sup>
AG	74.8 <sup>c</sup>	74.8 <sup>b</sup>	262.8 <sup>b</sup>	0.5 <sup>b</sup>	7.4 <sup>a</sup>	0.786 <sup>a</sup>
AIA	79.4 <sup>bc</sup>	79.4 <sup>ab</sup>	327.8 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>	0.712 <sup>ab</sup>
6-BAP	82.7 <sup>abc</sup>	82.7 <sup>ab</sup>	378.5 <sup>a</sup>	1.0 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>a</sup>	0.720 <sup>a</sup>
CTRL	91.0 <sup>a</sup>	88.7 <sup>a</sup>	370.00 <sup>a</sup>	0.9 <sup>ab</sup>	7.2 <sup>a</sup>	0.656 <sup>abc</sup>
p < 0.05	0.0004	0.0050	0.0001	0.0094	0.7854	0.0001
CV %	11.32	12.09	19.97	49.71	22.08	17.76

\*DLF: diámetro longitudinal de fruto. \*DEF: diámetro ecuatorial de fruto. \*VDF: volumen de fruto. \*PSS: peso seco de semillas por fruto. \*Ac. Tit: acidez titulable. +Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). CV: coeficiente de variación.

**Tabla 5.** Efecto de los extractos de plantas del semidesierto en variables de calidad de fruto en pimiento morrón.

Tratamientos	SST* (°Brix)	CFT* (mg EAG * 100 g PS)	Antocianinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Vit. C* (mg 100 g <sup>-1</sup> )
RM	8.6 <sup>a+</sup>	14.5 <sup>b</sup>	8.3 <sup>ab</sup>	3.9 <sup>b</sup>	43.2 <sup>c</sup>
RV	8.1 <sup>ab</sup>	11.8 <sup>b</sup>	8.9 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>b</sup>	50.7 <sup>bc</sup>
FM	8.2 <sup>ab</sup>	11.4 <sup>b</sup>	8.9 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>b</sup>	100.1 <sup>a</sup>
FR	8.1 <sup>ab</sup>	9.4 <sup>b</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	5.4 <sup>ab</sup>	85.8 <sup>ab</sup>
AG	7.6 <sup>abc</sup>	28.9 <sup>a</sup>	6.6 <sup>b</sup>	8.8 <sup>a</sup>	80.1 <sup>abc</sup>
AIA	7.0 <sup>c</sup>	19.8 <sup>ab</sup>	7.4 <sup>b</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	59.9 <sup>abc</sup>
6-BAP	7.3 <sup>bc</sup>	15.3 <sup>b</sup>	10.6 <sup>a</sup>	5.3 <sup>ab</sup>	87.4 <sup>ab</sup>
CTRL	7.4 <sup>bc</sup>	18.8 <sup>ab</sup>	7.9 <sup>ab</sup>	6.8 <sup>ab</sup>	66.1 <sup>abc</sup>
p < 0.05	0.0001	0.0007	0.0032	0.0067	0.0007
CV %	11.59	30.38	20.92	32.73	37.46

\*SST: sólidos solubles totales. \*CFT: contenido de fenoles totales. \*Vit. C: vitamina C. +Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). CV: coeficiente de variación.

flores, estimulando la riqueza de los frutos (Quimicompany 2020). En el presente estudio se observó que los extractos y biorreguladoras tuvieron efectos similares en el crecimiento longitudinal y diámetro del tallo. En lo que respecta a MST (Tabla 2), se notó que FR, RV y RM promovieron la acumulación de MST en las plantas de pimiento, igual a la biomasa producida por AIA. Para el volumen de raíz (Tabla 2), los extractos de FR y RV presentaron resultados iguales a AIA y 6-BAP, promoviendo la formación de un gran número de brotes y raicillas. Por lo anterior, se puede inferir que los compuestos polifenólicos de los extractos FR, RV y RM, tienen efecto bioestimulante de la misma forma que las auxinas en el proceso de acumulación de materia seca y en el establecimiento y desarrollo del sistema radicular de las plantas de pimiento

morrón (Popa *et al.* 2008). Estos resultados son muy interesantes, ya que, para un mejor desarrollo de los cultivos, se busca que las plantas tengan un buen sistema radicular, que les permita una mayor absorción de agua y nutrientes. Los resultados anteriores son convalidados por la utilización del extracto polifenólico de la corteza de abeto (*Picea abies*), en el crecimiento de plantas de girasol, estimulando mayor elongación y acumulación de biomasa en la raíz, tallos y hojas, así como asimilación de CO<sub>2</sub> en comparación al control (Tanase *et al.* 2014). También convalidados con el uso de bajas concentraciones de extractos polifenólicos de semillas de *Vitis vinífera*, que estimulan la acumulación de biomasa en raíces de frijol (Ignat *et al.* 2013), asimismo la utilización de bajas concentraciones de los extrac-

tos de la corteza de abeto y cáñamo estimulando la elongación del tallo de *Lavándula angustifolia* Mill y de las raíces aéreas y adventicias en el maíz sobre el control (Tanase *et al.* 2013). Al respecto Macheix *et al.* (2005), indican que los compuestos fenólicos contribuyen al crecimiento y desarrollo de las plantas, participando en el metabolismo y el transporte de auxinas y del etileno. Es importante mencionar que los extractos de FR y RM poseen alto contenido de compuestos fenólicos, como el ácido salicílico y ácido caféico (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022), además de actividad antioxidante. Se ha demostrado que algunos compuestos fenólicos, como el ácido salicílico intervienen en la producción de proteínas en el tejido celular vegetal (Villanueva-Couoh *et al.* 2009) lo que se ve reflejado en la fortaleza y crecimiento del tallo. Por otra parte, también se ha reportado en los extractos la presencia de compuestos de naturaleza esteroidea, como el etil isalocolate o el 3,4-dihidro coleste-1-eno (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2015), cuya estructura es base de los brasinoesteroides, ampliamente reconocidos como estimulantes del crecimiento vegetal (Li *et al.* 2021). Al respecto, Tanase *et al.* (2019) indican que un posible modelo de acción de los polifenoles a nivel celular es que algunos de los compuestos aromáticos al penetrar la membrana celular pueden desencadenar la producción de metabolitos secundarios intracelularmente. Este proceso puede activar la bomba de electrones al disminuir la concentración de ATP, lo que permitirá que la pared celular sea alargada. Otro mecanismo puede ser la estimulación del complejo de Golgi, que desencadenará la formación de vesículas de Golgi que a su vez alargarán y mantendrán el grosor de la pared celular.

### Variables de rendimiento

El extracto de FR estimuló el mayor peso de fruto por planta (Tabla 2), superior al de los biorreguladores. Lo anterior, concuerda con lo reportado por Jasso-de-Rodríguez *et al.* (2020), quienes al aplicar RM como inductor de crecimiento en tomate, obtuvieron incrementos en peso y número de frutos por planta. Los frutos tratados con FR pueden ser considerados extragrandes, de acuerdo con el

peso obtenido en el presente estudio (Ministerio de Agroindustria 2013). Los compuestos polifenólicos de FR promovieron el más alto rendimiento, superando a CTRL, así como a los biorreguladores AG, AIA y 6-BAP. Como se citó anteriormente, uno de los compuestos que contiene el extracto fenólico de FR es el ácido salicílico (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022), este compuesto participa en diversos procesos fisiológicos tales como, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos y a nivel celular provoca la mitigación del estrés en la planta e incrementa el rendimiento y calidad de sus frutos (Vazquez-Díaz *et al.* 2016). Estos resultados son interesantes, debido a que FR es un extracto integrado por diferentes compuestos como flavonoides y ácidos fenólicos (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2023), mientras que los biorreguladores son a base de compuestos hormonales naturales o sintéticos (Camargo *et al.* 2009).

### Variables de calidad de fruto

En relación con DLF, los cuatro extractos evaluados presentaron mayores efectos que los biorreguladores AG y AIA. En el caso de DEF, FR y RM fueron más efectivos que los biorreguladores evaluados. Lo anterior, podría atribuirse a los elevados contenidos de compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de los extractos (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2015, Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022). Por otra parte, el DLF y DEF de los frutos de pimiento morrón evaluados en el presente estudio, cumplieron con los estándares de calidad mencionados para esta especie (SAGARPA 2005). Otros autores también han observado cambios de DEF en frutos tratados con bioestimulantes, como Reyes-Pérez *et al.* (2018), que al aplicar Quitomax<sup>®</sup> en tomate observaron incrementos en el diámetro ecuatorial y polar de fruto. Al respecto, Pérez *et al.* (2004) mencionan que el volumen de fruto (VDF) es más importante que el peso del fruto como componente del rendimiento. En el presente estudio los extractos mostraron valores superiores de volumen de fruto que el AG, similares al AIA e iguales al 6-BAP (Tabla 4), lo que coincide con Simionescu *et al.* (1991) quienes reportan que los extractos po-

lifenólicos inducen efectos similares que las auxinas y citoquininas en el crecimiento de las plantas, lo cual explica el efecto de los extractos en el volumen de fruto. En la variable PSS, el extracto de FR presentó el mayor valor (Tabla 4), lo cual podría haber influido en el incremento de volumen, así como en la calidad de fruto, gracias a su elevado contenido de polifenoles (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022). Estos compuestos podrían haber actuado en el metabolismo de la planta estimulando un mejor desarrollo y calidad. Para la acidez titulable, el efecto de los extractos disminuyó la acidez en comparación con los biorreguladores. En general, los extractos incrementaron el porcentaje de acidez de 0.494 a 0.542%. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Figueroa *et al.* (2015), quienes presentaron valores de 0.38 a 0.67% de ácido cítrico. La mayor concentración de SST de los extractos en comparación con los biorreguladores (Tabla 5), podría atribuirse a la actividad bioestimulante de los extractos y en particular a RM. En la variable CFT los extractos fueron estadísticamente iguales entre sí y al 6-BAP, pero inferiores, que el AG y AIA. Los valores de CFT obtenidos en los extractos son superiores a los citados por Figueroa *et al.* (2015), para seis variedades comerciales de pimiento morrón. Los contenidos de antocianinas de los extractos fueron estadísticamente iguales entre sí, similares al 6-BAP y superiores que AG y AIA. Los resultados del presente estudio podrían ser atribuidos a los altos contenidos de compuestos fenólicos (flavonoides) reportados para los extractos evaluados (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2015, Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022). En relación con el licopeno (Tabla 5), se ha reportado que es un importante antioxidante y contribuye a la salud humana (Ramírez *et al.* 2015). En este estudio, el mayor contenido de licopeno se presentó en el tratamiento de FR, el cual fue estadísticamente igual al de AIA y 6-BAP. El efecto bioestimulante de FR podría atribuirse a los compuestos polifenólicos, que estarían actuando en los procesos fisiológicos de las plantas. En cuanto a la vitamina C, FM bioestimuló la producción de vitamina C de forma más eficiente que los biorreguladores. Lo anterior, podría atribuirse a

los flavonoides principalmente (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2023).

Los resultados benéficos como bioestimulante en las variables de calidad de fruto en pimiento morrón de los extractos, se atribuye a los altos contenidos de fenoles, conformados a su vez por diferentes compuestos entre los cuales destacan el ácido salicílico (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2022). El cual disminuye el ablandamiento de los frutos provocando una menor producción de etileno, inhibe la acción de las enzimas responsables de la degradación de la pared celular, manteniendo la integridad de la pared celular y retardando la maduración de frutos (Vazquez-Díaz *et al.* 2016). Otro compuesto es el etil iso-alocolate o el 3,4-dihidro coleste-1-eno (Jasso-de-Rodríguez *et al.* 2015), cuya estructura es base de los brasinoesteroides, compuestos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, implicados en la elongación y división celular, la fotomorfogénesis, la diferenciación del xilema y la reproducción, así como en las respuestas al estrés abiótico, biótico, y estimulan la actividad antioxidante (Cáceres-Rodríguez *et al.* 2022). La actividad antioxidante de los polifenoles neutraliza el efecto del estrés oxidativo que afecta directamente al correcto desarrollo de los cultivos, la planta que invierte su energía en defenderse de dicho estrés presenta, lo que impacta en la absorción y metabolismo de los nutrientes, reduciendo su potencial de crecimiento (Vincent-Civera *et al.* 2019).

Se observó que los extractos de las plantas del semidesierto, son compuestos seguros para el medio ambiente y en base a los resultados obtenidos, los extractos de plantas con alto contenido polifenólico, actuaron como bioestimulantes, ejerciendo una acción similar a las fitohormonas en el crecimiento, rendimiento y calidad de las plantas de pimiento morrón, induciendo algunos cambios en los procesos fisiológicos de la planta, para el mejoramiento de la cantidad y la calidad del cultivo, este efecto podría ser atribuido a la acción individual de un compuesto presente en los extractos o al sinergismo entre algunos compuestos polifenólicos.

## CONCLUSIONES

El extracto de *Flourensia retinophylla*, mostró la mayor actividad para promover el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto de pimiento morrón var. Cannon, por lo que puede ser utilizado como un bioestimulante en la agricultura orgánica. Además, la aplicación de *F. microphylla* promovió el contenido de vitamina C y, el extracto de *R. muelleri* incrementó el contenido de sólidos solubles totales en el fruto. La eficiencia mostrada por los extractos podría atribuirse a los compuestos polifenólicos bioactivos que contienen, así como a la sinergia entre la matriz de compuestos del extracto. En general, los cuatro extractos evaluados mostraron mayor actividad

bioestimulante que los biorreguladores comerciales en pimiento morrón, por lo que son eficaces para producir frutos de calidad nutracéutica, que beneficien la salud humana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a T.A. María Guadalupe Moreno Esquivel, T.A. Edith E. Chaires Colunga y C. Juan Valenzuela Cabrera, del equipo del Laboratorio de Fitoquímica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación, en labores de invernadero y laboratorio.

## LITERATURA CITADA

- AOAC (1990) Official methods of analysis. 15th. Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA. 384p.
- Arias R, Lee TG, Logendra L, Janes H (2000) Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 48: 1697-1700.
- Cáceres-Rodríguez JL, Machado-López E, Martínez-López DA, Cortés-Gómez MC, Balaguera-López HE (2022). Rol de los brasinoesteroides en frutales con énfasis en condiciones de estrés abiótico: Una revisión. *Ciencia y Agricultura* 19: 132-147.
- Camargo PR, Melinsky C, Andrade M, Mazza JL, Rossi G (2009) Agroquímicos de controle hormonal, fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical. Piracicaba. Serie Produtor Rural. Universidade de São Paulo-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Divisão de Biblioteca e Documentação. São Paulo, Brasil. 83p.
- Carrillo-Lomelí DA, Jasso de Rodríguez D, Moo-Huchin VM, Ramon-Canul L, Rodríguez-García R, Gonzalez-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: 115248. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115248.
- Du-Jardin P (2015) Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulture* 196: 3-14.
- Figuroa IE, Martínez MT, Rodríguez JE, Cruz O, Beryl MT, Valle S, Ramírez SP (2015) Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.). *Interciencia* 40: 696-703.
- Gutierrez T, Hoyos O, Páez M (2007) Ascorbic acid determination in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) for high-performance liquid chromatography (HPLC). *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias* 15: 70-79.

- Hernández-Montiel LG, Murillo-Amador B, Chiquito-Contreras CJ, Zuñiga-Castañeda CE, Ruiz-Ramírez J, Chiquito-Contreras RG (2020) Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con *Pseudomonas putida* y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero. *Terra Latinoamericana* 38: 583-596.
- Heimler D, Vignolini P, Dini MG, Vincieri FF, Romani A (2006) Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chemistry* 99: 464-469.
- Ignat I, Stingu A, Volf I, Popa VI (2011) Characterization of grape seed aqueous extract and possible applications in biological systems. *Cellulose Chemistry and Technology* 45: 205-209.
- Ignat I, Radu DG, Volf I, Pag AI, Popa VI (2013) Antioxidant and antibacterial activities of some natural polyphenols. *Cellulose Chemistry and Technology* 47: 387-399.
- Jasso-de-Rodríguez D, Trejo-González FA, Rodríguez-García R, Díaz-Jiménez MLV, Sáenz-Galindo A, Hernández-Castillo FD, 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: 150-158.
- 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-Lomeli 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.
- 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: E2342. DOI: 10.19136/era.a7n1.2342.
- Jasso-de-Rodríguez D, Victorino-Jasso MC, Rocha-Guzmán NE, Moreno-Jiménez MR, Díaz-Jiménez L, Rodríguez-García R, Villarreal-Quintanilla JA, Peña-Ramos FM, Carrillo-Lomeli DA, Genisheva ZA, Flores-López ML (2022) *Flourensia retinophylla*: An outstanding plant from northern Mexico with antibacterial activity. *Industrial Crops and Products* 185: 115120. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115120.
- Jasso de Rodríguez D, Torres-Moreno H, López-Romero JC, Vidal-Gutiérrez M, Villarreal-Quintanilla JA, Carrillo-Lomeli DA, Robles-Zepeda RE, Vilegas W (2023) Antioxidant, anti-inflammatory, and antiproliferative activities of *Flourensia* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 47: 1-7. DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102552.
- Jiménez MC, González LG, Suárez M, Martínez I, Oliva A, Falcón A (2018) Respuesta agronómica del pimiento California Wonder a la aplicación de Quitomax. Cuba. *Revista Centro Agrícola* 45: 40-46.
- 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.
- Macheix JJ, Fleuriet A, Jay-Allemand C (2005) Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. 1er Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Suisse. 192p.
- Ministerio de Agroindustria (2013) Protocolo de Calidad. Secretaría de Agregado de Valor, Subsecretaría de Alimentos y Bebidas. SAA040, versión 03. Argentina. [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema\\_protocolos/SAA040\\_%20ProtocoloPimientofresco\\_V3.pdf](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/SAA040_%20ProtocoloPimientofresco_V3.pdf). Fecha de consulta: 12 de junio de 2022.

- Moreno-Pérez EC, Sánchez-Del Castillo F, Martínez-Gaspar FJ, Ramírez-Árias A, Beryl-Colinas-León MT (2018) Rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) por poda floral selectiva y despunte de yemas laterales en la cuarta bifurcación. *Agrociencia* 53: 697-707.
- Paradikovic N, Teklic T, Zeljkovic S, Lisjak M, Špoljarevic M (2018) Biostimulants research in some horticultural plant species-A review. *Food and Energy Security* 8: e00162. DOI: 10.1002/fes3.162.
- Pérez GM, González HVA, Peña LA, Mendoza MC, Peña VCC, Sahagún CJ (2004) Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens*) landraces. *Journal of the America Society for Horticulture Science* 129: 88-92.
- Prasad M, Srinivasan R, Chaudhary M, Choudhary M, Jat Ik (2019) Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture: Perspectives and challenges. In: Singh AK, Kumar A, Singh PK (Eds) PGPR amelioration in sustainable agriculture: Food security and environmental management. Elsevier-Woodhead Publishing. United Kingdom. pp: 129-157.
- Popa V I, Dumitru M, Volf I, Anghel N (2008) Lignin and polyphenols as allelochemicals. *Industrial Crops and Products* 27: 144-149.
- Quimicompany (2020) Equipos e insumos para laboratorio. Bogotá, Colombia. <https://quimicompany.com.co/Fichastecnicas/6-%20Bencilaminopurina.pdf>. Fecha de consulta: 18 de octubre de 2022.
- Ramírez H, Hoad GV, Benavides A, Rangel E (2001) Gibberellins in apple seeds and the transport of [3H]-GA4. *Journal of the Mexican Chemical Society* 45: 47-50.
- Ramírez H, Camacho-Chávez VM, Ramírez-Pérez LJ, Rancaño-Arriola JH, Sepúlveda-Torre L, Robledo-Torres V (2015) La prohexadiona-Ca provoca cambios en el crecimiento vegetativo, giberelinas, rendimiento y luteolina en chile jalapeño. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 13-22.
- Reyes-Pérez JJ, Enríquez-Acosta EA, Ramírez-Arrebató MA, Rodríguez-Pedroso AT, Falcón-Rodríguez A (2018) Application of Quitomax<sup>®</sup> on tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) and evaluation of its effect in the yield and nutritional value. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 35: 463-475.
- Reyes-Pérez JJ, Rivero-Herrada M, Solórzano-Cedeño AE, Carballo-Méndez FJ, Lucero-Vega G, Ruiz-Espinoza FH (2021) Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana* 39: 1-13. DOI: 10.28940/terra.v39i0.833.
- Rodríguez-Castro A, Torres-Herrera S, Domínguez-Calleros A, Romero-García A, Silva-Flores M (2020) Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agroforestal* 2: 1-13. DOI: 10.37114/abaagrof/2020.7.
- SADER (2019) Cinco cosas que hay que saber del pimiento morrón. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cinco-cosas-que-hay-que-saber-del-pimiento-morrón>. Fecha de consulta: 08 de febrero de 2022.
- SAGARPA (2005) PC-022-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en pimiento morrón. México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.yumpu.com/es/document/view/47165642/mexico-calidad-suprema-pimiento-morrón>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2022.
- SIAP (2021) México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. México. Servicio de Información Agrícola y Pesquera. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura?idiom=es>. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2022.

- SIAP (2022) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. Servicio de Información Agrícola y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 09 de agosto de 2022.
- Simionescu CI, Popa VI, Rusan V, Colf V, Zanoaga CV, Marinescu C (1991) Study on the action of some wood bark polyphenolic compounds upon plant growth. *Cellulose Chemistry and Technology* 25: 189-197.
- Srivastava NK, Srivastava AK (2007) Influence of gibberellic acid on  $^{14}\text{CO}_2$  metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. *Photosynthetica* 45: 156-60.
- Steiner AA (1961) A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Tanase C, Stingu A, Volf I, Popa VI (2011) The effect of spruce bark polyphenols extracts in combination with deuterium depleted water (DDW) on *Glycine max* L. and *Helianthus annuus* L. development. *Scientific Annals of the Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi. (New Series). Section 2. a. Genetics and Molecular Biology* 12: 115-120.
- Tanase C, Vantu S, Popa VI (2013) "In vitro" effect of some industrial by-products on *Lavandula angustifolia* Mill. explant growth. *Scientific Annals of the "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi. (New Series). Section 2. a. Genetics and Molecular Biology* 14: 13-18.
- Tanase C, Boz I, Stingu A, Volf I, Popa VI (2014) Physiological and biochemical responses induced by spruce bark aqueous extract and deuterium depleted water with synergistic action in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Industrial Crops and Products* 60: 160-167.
- Tanase C, Bujor OC, Popa, VI (2019) Phenolic Natural Compounds and Their Influence on Physiological Processes in Plants. In: Watson RR (Ed) *Polyphenols in plants. Isolation, purification and extract preparation.* Academic Press-Elsevier. Netherlands. pp: 45-58.
- Vázquez-Díaz DA, Salas-Pérez L, Preciado-Rangel P, Segura-Castruita MÁ, González-Fuentes JA, Valenzuela-García JR (2016) Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica 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: 33-9.
- Villanueva-Couoh E, Alcántar-González G, Sánchez-García P, Soria-Fregoso M, Larque-Saavedra A (2009) Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 25-31.
- Vicent-Civera A, Sancho-Ortega J, Baigorri-Ekisoain R, San Francisco-Elia S (2019) El efecto de los antioxidantes sobre el estrés oxidativo en los cultivos. *Phytoma España* 314: 76-79.