

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



BIOESTIMULACIÓN DE EXTRACTOS DE PLANTAS DEL SEMIDESIERTO EN  
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN PEPINO (*Cucumis  
sativus* L.)

Tesis

Que presenta IVÁN CUEVAS JULIO

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN


Saltillo, Coahuila

Junio 2024

BIOESTIMULACIÓN DE EXTRACTOS DE PLANTAS DEL SEMIDESIERTO EN  
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN PEPINO (*Cucumis  
sativus* L.)

**Tesis**

Elaborada por IVÁN CUEVAS JULIO como requisito parcial para obtener el  
grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



---

Dra. Diana Jasso Cantú  
Directora de Tesis



---

Dr. Homero Ramírez Rodríguez  
Asesor



---

Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla  
Asesor



---

Dr. Armando Hernández Pérez  
Asesor



---

Dra. María de Lourdes Virginia Díaz Jiménez  
Asesor



---

Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Junio 2024

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de ingresar y concluir una etapa más de mi vida, así como mi formación profesional.

A mi asesora principal, **Dra. Diana Jasso Cantú** y al **Dr. Raúl Rodríguez García**, por haberme brindado su confianza y apoyo en todas las situaciones que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación, así como durante la obtención del Grado, y por haber sido parte integral de mi formación profesional.

A mi comité de asesoría: Dr. Homero Ramírez Rodríguez, Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla, Dr. Armando Hernández Pérez y a la Dra. Lourdes Díaz Jiménez, por compartir sus conocimientos y experiencia, y contribuir a la realización de este trabajo de tesis.

Al Dr. Antonio Juárez Maldonado, por sus importantes recomendaciones y aportaciones en el desarrollo de esta investigación

A la Dra. Dennise Anahí Carrillo-Lomelí, por la asesoría y apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Al equipo del Laboratorio de Fitoquímica de la UAAAN: T.A. María Guadalupe Moreno Esquivel, T.A. Edith E. Chaires Colunga, y C. Juan Valenzuela Cabrera, por brindarme su apoyo en la elaboración de este trabajo y su valiosa amistad. Además, al Ing. Froylan Meraz Saavedra, del Jardín Botánico Gustavo Aguirre Benavides” de la UAAAN, por su valiosa contribución para la colecta de las plantas utilizadas en este estudio.

A mis amigos: Francisco Martín Rocha Rivera, Joel Gayosso, Dra. Dennise Anahí Carrillo Lomelí, Carmen Ramírez, Belén Rocha; por creer en mí y apoyarme en las dificultades y obstáculos que enfrenté durante mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por la beca otorgada (CVU 1182887), para la realización de mis estudios de Postgrado en el Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción, en la UAAAN.

## **DEDICATORIA**

En especial a mis padres:

**Julio Raúl Cuevas García y Luvia Julio Barrera;**

Les agradezco por todos los momentos, el amor, comprensión y por todo el apoyo incondicional que me brindan.

A mis hermanos:

**Raúl Cuevas Julio Cuevas Julio y Raciél Cuevas Julio,**

Por los buenos consejos que me dieron, y por haberme ayudado a superar los momentos más difíciles.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	iii
<b>DEDICATORIA</b>	v
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	vi
<b>LISTA DE CUADROS</b>	ix
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	x
<b>RESUMEN</b>	xi
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	2
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	3
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	3
<b>HIPÓTESIS</b>	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
Origen e importancia del pepino	4
Importancia económica del pepino	4
Condiciones y crecimiento en pepino	5
Cultivo sin suelo	5
Biorreguladores	5
Ácido giberélico (AG)	6
Ácido indolacético (AIA)	6
6 Bencilaminopurina (6-BAP)	6
Biestimulantes	6
Compuestos fenólicos	7
Uso de extractos de plantas como biorreguladores	8
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	11
Obtención de extractos	11
Colecta de plantas	11
Extracción de compuestos	11
Preparación de combinación de extractos	12
Caracterización fitoquímica	12

Contenido de fenoles totales (CFT) _____	12
Actividad antioxidante _____	12
Establecimiento de cultivo en invernadero _____	12
Ubicación del sitio experimental _____	12
Material de estudio _____	13
Imbibición de semilla y siembra _____	13
Riego y fertilización _____	13
Diseño experimental _____	14
Aplicación de tratamientos _____	15
Labores culturales _____	15
Poda y entutorado _____	15
Medición de temperatura del invernadero _____	16
Evaluación de variables de crecimiento de plantas de pepino _____	17
Longitud y diámetro de tallo _____	17
Número de hojas _____	17
Longitud y peso de raíz _____	17
Peso fresco y seco de hojas y tallos _____	17
Evaluación de rendimiento _____	17
Número y peso de frutos por planta _____	18
Evaluación de calidad del fruto de pepino _____	18
Longitud y diámetro de frutos _____	18
Firmeza de frutos _____	18
Sólidos solubles totales (SST), potencial de hidrógeno (pH), y conductividad eléctrica (CE) _____	19
Análisis estadísticos _____	19
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____</b>	<b>20</b>
Contenido fitoquímico de los extractos _____	20
CFT de los extractos _____	20
Actividad antioxidante de los extractos _____	21
<b>Evaluación en Invernadero _____</b>	<b>21</b>
Variables de crecimiento _____	21

Longitud de tallo _____	21
Diámetro de tallo _____	23
Variables agronómicas _____	24
Número de hojas _____	24
Longitud de raíz _____	24
Peso fresco de hojas y tallos _____	25
Peso seco de hojas y tallos _____	26
Variables de rendimiento _____	28
Número, peso de frutos y rendimiento por planta _____	28
Variables de calidad de fruto _____	29
Longitud y diámetro del fruto. _____	29
<b>CONCLUSIONES</b> _____	34
<b>REFERENCIAS</b> _____	35



## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Contenido de fenoles totales (CFT) y actividad antioxidante por FRAP y DPPH, de los extractos de plantas del semidesierto. _____	20
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de los tratamientos en número de hojas, longitud de raíz, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz en pepino ( <i>C. sativus</i> L.) _____	27
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de los tratamientos en número de frutos por planta, peso de fruto y rendimiento por planta, en pepino ( <i>C. sativus</i> L.) _____	30
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de los tratamientos en variables de calidad de fruto en pepino ( <i>C. sativus</i> L.) _____	33

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Hojas de <i>Rhus muelleri</i> (a) <i>in situ</i> y (b) muestra de herbario _____	9
<b>Figura 2.</b> <i>F. microphylla</i> (a) <i>in situ</i> y (b) muestra de herbario _____	9
<b>Figura 3.</b> <i>F. retinophylla</i> (a) <i>in situ</i> y (b) muestra de herbario _____	10
<b>Figura 4.</b> Imbibición de semilla (a), y siembra (b) _____	13
<b>Figura 5.</b> Cultivo de pepino en invernadero _____	14
<b>Figura 6.</b> Aplicación de tratamientos a plantas de pepino _____	15
<b>Figura 7.</b> Entutorado de plantas de pepino en invernadero _____	16
<b>Figura 8.</b> Calidad de pepino listo para corte _____	18
<b>Figura 9.</b> Efecto de los tratamientos en la longitud de tallo en plantas de pepino. _____	22
<b>Figura 10.</b> Efecto de los tratamientos en el diámetro de tallo en plantas de pepino ( <i>C. sativus</i> L.) _____	23

## RESUMEN

BIOESTIMULACIÓN DE EXTRACTOS DE PLANTAS DEL SEMIDESIERTO EN  
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN PEPINO (*Cucumis  
sativus* L.)

POR

IVÁN CUEVAS JULIO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. DIANA JASSO CANTÚ – ASESOR

Saltillo, Coahuila.

Junio, 2024

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo de gran importancia en la producción hortícola y desempeña un papel fundamental en la economía de diversos países. México se destaca como el sexto productor de pepino a nivel mundial, con el 72.3% de su producción destinada a la exportación. La creciente demanda de este fruto ha motivado la búsqueda de prácticas agrícolas innovadoras para mejorar su crecimiento, rendimiento y calidad. En este contexto, el uso de extractos de plantas del semidesierto como bioestimulantes representa una alternativa natural y sostenible a los bio reguladores y bioestimulantes comerciales, para aumentar la productividad agrícola. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto bioestimulante de los extractos de tres especies de plantas del semidesierto: *Rhus muelleri*, *Flourensia michophylla* y *F. retinophylla*, solos o combinados, como promotores de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pepino. Se estableció un experimento con 11 tratamientos, evaluando tres extractos: RM, FM, FR; cuatro combinaciones de extractos: RM+FM, FM+FR, RM+FR, RM+FM+FR; tres biorreguladores: ácido giberélico (AG), ácido indolacético (AIA), 6-Bencilaminopurina (6-BAP); y un testigo sin extracto o biorregulador, con ocho repeticiones cada uno. Los tratamientos se aplicaron imbibiendo las semillas, y posteriormente con 6 aplicaciones más, de manera foliar después de la siembra. Se evaluaron variables de crecimiento de la planta y, rendimiento y calidad del fruto.

Los resultados indicaron que la combinación de los tres extractos exhibió una notable actividad en la estimulación del rendimiento por planta y en la mejora de la calidad de los frutos, superando a los biorreguladores comerciales utilizados como referencia. Estos hallazgos respaldan la efectividad de los extractos de plantas del semidesierto como bioestimulantes para el rendimiento y calidad del fruto del pepino.

**Palabras clave:** Bioestimulantes; polifenoles; *Rhus muelleri*; *Flourensia microphylla*; *F. retinophylla*; pepino

ABSTRACT

BIOESTIMULATION OF EXTRACTS FROM SEMIDESERT PLANTS IN  
GROWTH, YIELD AND FRUIT QUALITY IN CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.)

BY

IVÁN CUEVAS JULIO

MASTER IN SCIENCE IN SYSTEMS PRODUCTION ENGINEERING  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIANA JASSO CANTÚ, PhD – ADVISOR

Saltillo, Coahuila.

June 2024

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a crop of great importance in horticultural production and plays a fundamental role in the economy of various countries. Mexico stands out as the sixth largest producer of cucumbers worldwide, with 72.3% of its production destined for export. The increasing demand for this fruit has motivated the search for innovative agricultural practices to improve its growth, yield, and quality. In this context, the use of extracts from semi-desert plants as biostimulants represents a natural and sustainable alternative to commercial bioregulators and biostimulants, to increase agricultural productivity. The objective of this research was to evaluate the biostimulant effect of extracts from three species of semi-desert plants: *Rhus muelleri*, *Flourensia microphylla*, and *F. retinophylla*, alone or in combination, as growth promoters, yield enhancers, and fruit quality enhancers in cucumber. An experiment with 11 treatments was established, evaluating three extracts: RM, FM, FR; four combinations of extracts: RM+FM, FM+FR, RM+FR, RM+FM+FR; three bioregulators: gibberellic acid (GA), indoleacetic acid (IAA), 6-Benzylaminopurine (6-BAP); and a control without extract or bioregulator, with eight replications each one. Treatments were applied by imbibing the seeds, and subsequently with 6 more foliar applications after planting. Plant growth variables, yield, and fruit quality were evaluated. The results demonstrated that the combination of the three extracts showed significant activity in stimulating yield per plant and improving fruit quality, surpassing commercial bioregulators used as references. These findings support the effectiveness of semi-desert plant extracts as biostimulants for cucumber fruit yield and quality.

**Keywords:** Biostimulant; polyphenols; *Rhus muelleri*; *Flourensia microphylla*; *F. retinophylla*; cucumber

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de pepino ocupa un lugar muy destacado en la producción hortícola de México. En 2022, el país se posicionó en el quinto lugar a nivel mundial, con una producción de 1.029 millones de toneladas, y un valor de 7,874 millones de pesos. Las exportaciones del país alcanzaron los 500 millones de dólares, donde 489.2 millones correspondieron a Estados Unidos (SIAP, 2023). Además, en 2024 se sembraron 19 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 54.8 t/ha. Los principales estados productores de pepino son: Sinaloa, Sonora, Michoacán y Morelos, que producen el 30%, 17.35%, 10.88% y 6.13%, respectivamente, con respecto al total (SIAP, 2023).

Sin embargo, la agricultura moderna enfrenta desafíos críticos que deben abordarse para alimentar a la población mundial. Los fenómenos meteorológicos, como el calor y el frío extremos, pueden estar relacionados con el cambio climático derivado del calentamiento global, un fenómeno al que la agricultura contribuye a través de las emisiones de gases de efecto invernadero y que debe abordarse para seguir creciendo en alimentos y aumentar la producción. Además, dadas las condiciones actuales del mercado e incremento de la población, existe una gran oportunidad de aumentar la producción de pepino, a través de métodos que permitan incrementar el rendimiento y calidad. Por lo anterior, es necesario que la agricultura reduzca el uso de productos sintéticos ya que su mal uso ha traído contaminación y degradación de los suelos (Cristofano et al., 2021).

El uso de bioestimulantes vegetales es una estrategia válida para la mejora de prácticas sostenibles, los cuales son definidos como productos que no deben evaluarse en función de su contenido de nutrientes, los efectos de los bioestimulantes incluyen una mayor absorción de nutrientes de las plantas y una mayor eficiencia en su uso, tolerancia al estrés abiótico y, por último, una mejor calidad del producto (Cristofano et al., 2021).

En las regiones áridas y semiáridas del norte de México, existe una gran diversidad de especies de plantas silvestres que crecen bajo condiciones climáticas extremas (Adame y Adame, 2000). Estas especies sintetizan una gran variedad de metabolitos secundarios, compuestos de naturaleza esterol y

esteroides en especies del género *Rhus* (Jasso de Rodríguez et al., 2015), en el género *Flourensia*, también se han identificado una gran cantidad de compuestos químicos destacando, fenoles, flavonoides, sesquiterpenoides, acetilenos, p-acetophenonas, flavononas, y kaempferol (Jasso de Rodríguez et al., 2007). Además, los extractos de estas plantas han mostrado actividad antifúngica en cultivos (Jasso de Rodríguez et al., 2015), actividad antimicrobiana para uso medicinal o terapéutico, y también se ha comprobado actividad antiinflamatoria, antioxidante y propiedades antiproliferativas contra células cancerígenas (Jasso de Rodríguez et al., 2017a; Jasso de Rodríguez et al., 2023a). Otra posible y potencial área de investigación consiste en utilizar estos extractos con alto contenido de polifenoles como bioestimulantes o promotores de crecimiento de cultivos de interés comercial. Lo anterior, basándose en investigaciones que han reportado efectos positivos con la aplicación de extractos polifenólicos de la corteza de abeto (*Picea abies*) en el crecimiento de plantas (Talmaciu et al., 2015; Tanase et al., 2020). Adicionalmente, los extractos de plantas del semidesierto han sido utilizadas como bioestimulantes en el cultivo de tomate, mostrando que el extracto de *R. muelleri*, tiene una alta efectividad en promover el crecimiento y producción de fruto (Jasso de Rodríguez et al., 2020). Por otra parte, el extracto de *F. retinophylla* promovió mayor peso de frutos por planta, volumen de fruto y rendimiento en pimiento morrón (Jasso et al., 2023b).

Estos resultados observados en tomate y pimiento morrón con el uso de extractos de plantas del semidesierto, incentivan a extender su aplicación en otros cultivos hortícolas de importancia económica, como el pepino.

## JUSTIFICACIÓN

El uso como bioregulador que los extractos de *R. muelleri*, *F. michophylla* y *F. retinophylla* han demostrado en tomate y pimiento morrón, ofrece la oportunidad de evaluar su aplicación como bioestimulantes en plantas de pepino para avanzar hacia el desarrollo de un producto agrícola amigable con el ambiente.



## OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto bioestimulante de los extractos de tres especies de plantas del semidesierto: *Rhus muelleri*, *Flourensia michophylla* y *F. reninophylla*, solos o combinados, como promotores de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pepino, en comparación con tres biorreguladores: Ácido Giberélico, Ácido Indolacético y 6-Bencilaminopurina

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar el Contenido de fenoles y actividad antioxidante de los extractos.
2. Evaluar en pepino, el efecto de los tres extractos, solos o combinados en el crecimiento vegetativo del cultivo de pepino: altura y diámetro del tallo, número de hojas, peso seco aéreo, longitud y peso de raíz, comparado con tres biorreguladores.
3. Determinar en pepino, el efecto de los tres extractos, solos o combinados en el crecimiento reproductivo del cultivo de pepino: número de frutos, peso de fruto, rendimiento de fruto por planta, comparado con tres biorreguladores.
4. Evaluar en pepino, el efecto de los tres extractos, solos o combinados en la calidad del fruto en el cultivo de pepino: longitud y diámetro ecuatorial, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y conductividad eléctrica de los frutos, comparado con tres biorreguladores.

## HIPÓTESIS

Al menos uno de los extractos de plantas del semidesierto y/o sus combinaciones, promoverá mayor crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pepino que los biorreguladores comerciales.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen e importancia del pepino

El origen del pepino (*Cucumis sativus*) se encuentra en la India, debido a la frecuente presencia de especies silvestres de *Cucumis*, y a los vestigios del cultivo hace 3000-4000 años (Bisognin, 2002). Desde la India esta especie fue llevada a Grecia e Italia y después a China considerado como el segundo centro de diversificación. Posteriormente, fue introducida en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica hacia mediados del siglo XVI. Actualmente, se encuentra distribuido en gran parte del mundo.

El pepino, es una especie relevante, perteneciente a la familia de las cucurbitáceas, y representa una significativa fuente de vitaminas A, C, K y E, así como de diversos minerales como magnesio, potasio, manganeso, fósforo, calcio, hierro y zinc. Además, este fruto se emplea para consumo en fresco y procesado (Ahirwar et al., 2017).

El pepino es cultivado en diferentes zonas de la geografía mundial, sobre todo entre los 50° de latitud norte y los 30° de latitud sur, fundamentalmente en climas cálidos. Debido a la amplia gama de altitudes en que *C. sativus* da como resultado una gran diversidad morfológica de sus semillas y frutos (Bisognin, 2002).

### Importancia económica del pepino

En México, esta hortaliza se cultiva en 29 estados del país, de los cuales Sinaloa y Sonora destacan como los principales productores. Además, México ocupa el quinto lugar mundial en la producción de pepino. En el año 2022, la producción de pepino fue de 1.029 millones de toneladas, con 19 mil hectáreas cosechadas, contribuyendo Sinaloa con el 30% de la producción nacional (SIAP, 2023). Además, el país exportó 500 millones de dólares, de donde 489.2 millones correspondieron a exportaciones hacia Estados Unidos. Adicionalmente, el pepino mexicano se exportó a otros países de América: Canadá, Costa Rica, Guatemala, así como a los Emiratos Árabes.

### **Condiciones y crecimiento en pepino**

El cultivo de pepino muestra preferencia por un clima cálido, con temperaturas superiores a los 20°C, y requiere una exposición adecuada a la luz para su óptimo crecimiento y desarrollo. Los pepinos deben ser plantados en suelos que presenten una buena capacidad de infiltración de agua y retención de humedad. Es crucial que el suelo no esté compactado y que su pH se encuentre dentro del rango de 5.8 a 6.6. Debido a su alta sensibilidad al frío, las plantas de pepino, así como sus frutos, pueden resultar dañados incluso por una ligera helada (Penn State Extension, 2017).

### **Cultivo sin suelo**

La introducción de la hidroponia como una alternativa para la producción de cultivos sin suelos, contribuye a fomentar la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Por ende, la adopción de técnicas de cultivo en invernaderos representa una alternativa moderna para los agricultores, ya que les permite alcanzar mayores rendimientos en comparación con el cultivo a campo abierto (López-Elías et al., 2018). Esta práctica también brinda la oportunidad de cosechar antes que los cultivos sembrados a campo abierto, lo que puede resultar en precios más altos. (SIAP-SAGARPA, 2019). En la actualidad, se disponen de múltiples alternativas y combinaciones de productos que pueden servir como sustrato. No obstante, es esencial considerar diversos factores como la porosidad, capacidad de retención, contenido y liberación de sales, así como la durabilidad al seleccionar uno de ellos como medio hidropónico. Entre los sustratos más populares y empleados se encuentran la fibra de coco, la cascarilla de arroz, los chips de pino y la turba (Ochoa, 2019).

### **Biorreguladores**

Los biorreguladores, o reguladores de crecimiento (RC), son sustancias, ya sean naturales o sintéticas, que impactan en los procesos metabólicos de las plantas. (Borjas et al., 2020). En el ámbito de las fitohormonas, hay cinco conjuntos que destacan por los impactos que tienen en la regulación del crecimiento y desarrollo

de las plantas, entre los cuales se incluyen las auxinas, citoquininas, giberelinas, entre otras (Díaz, 2017).

### **Ácido giberélico (AG)**

El ácido giberélico (GA3), una hormona vegetal endógena perteneciente al grupo de los diterpenoides tetracíclicos, controla múltiples facetas del crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. GA3 desempeña una función crucial en la mitigación de los efectos adversos causados por el estrés abiótico en las plantas, al influir en diversos procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares (Shah, et al., 2023). El GA3 acelera la germinación de las semillas, incrementa la producción general de las plantas y mejora la dormancia de las semillas (Binenbaum et al., 2018).

### **Ácido indolacético (AIA)**

El ácido indolacético (AIA) es una de las auxinas más potentes, originada a partir del metabolismo del L-triptófano, y puede ser producida por varios microorganismos como un metabolito secundario (Ferreira et al., 2020). Esta hormona vegetal tiene un efecto benéfico en el crecimiento de las plantas, afectando procesos como la elongación y la división celular, lo que influye en la organogénesis (Gao et al., 2020).

### **6 Bencilaminopurina (6-BAP)**

Las citoquininas, como la 6-bencilaminopurina (6-BAP), contribuyen a la generación de yemas florales, el crecimiento de brotes, la expansión de hojas y cotiledones, así como al mejoramiento del desarrollo reproductivo, la fotosíntesis y la senescencia (Aucapiña-Criollo, 2016).

### **Biestimulantes**

Hoy en día, en la agricultura sostenible, se utilizan sustancias de origen natural llamados bioestimulantes, los cuales actúan sobre la fisiología vegetal a través de diferentes vías, mejorando el crecimiento, rendimiento y la calidad de los

cultivos, así como la absorción de nutrientes, y tolerancia al estrés (du Jardin, 2015; Paradikovic' et al., 2018; Rouphael et al., 2018).

Por otra parte, se ha reportado que la aplicación foliar de biorreguladores y bioestimulantes hechos de extractos de alga (*Ascophyllum nodosum*), en arándano, promueven la elongación de los brotes en las plantas, así como la emisión de nuevas cañas (García-Vázquez et al., 2023). Además, en pepino, se evaluó el impacto de dos bioestimulantes comerciales a base de algas, y su efectividad sobre el rendimiento, número de frutos, peso seco, color, grosor de la pulpa, grosor de la piel, pigmentos de plastidios y contenido de tocoferoles.

La aplicación de bioestimulantes tiene el potencial de mejorar sustancialmente la calidad interna de los pepinos, particularmente en términos de pigmentos plástidos y tocoferoles (Zamljen et al., 2024). En la evaluación de la aplicación foliar de 5 extractos acuosos de algas en pepino, los resultados mostraron que el rendimiento fue mayor con el alga *Bryothamnion triquetrum*, la capacidad antioxidante fue mayor utilizando el tratamiento con alga *Macrocystis pyrifera* (Trejo-Valencia et al., 2018). El efecto del extracto de algas Kelpak® sobre el desarrollo de pepinos fue investigado, evaluando 6 variantes: 1) plantas control no tratadas – (NT); 2) semillas tratadas (ST); 3) raíces de plántulas tratadas (TSR); 4) sólo tratamiento de vegetación (VT); 5) semillas tratadas + tratamiento de vegetación (TS+VT); 6) raíces de plántulas tratadas + tratamiento de vegetación (TSR+VT). La variante con solo semillas tratadas (TS) tuvo el mayor número de hojas (día 23 después del trasplante), el mayor número de frutos en la primera cosecha y la longitud de tallo más larga (Yordanova y Filipov, 2023).

### **Compuestos fenólicos**

Los polifenoles son metabolitos secundarios generados por las plantas, caracterizados por tener al menos un anillo aromático y uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos pueden variar desde moléculas simples de peso molecular reducido hasta polímeros más complejos (Stavrou et al., 2018). Varios análisis han indicado que tienen una notable habilidad para atrapar radicales libres, los cuales son los causantes del estrés oxidativo, y contribuyen a la

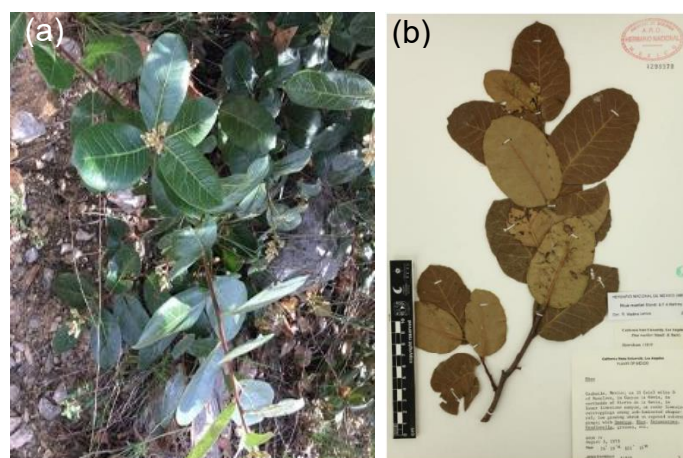
prevención de diversas enfermedades crónicas y degenerativas, tales como el cáncer, la aterosclerosis y las enfermedades del sistema cardiovascular y del sistema nervioso central (Majidinia et al., 2019).

### **Uso de extractos de plantas como biorreguladores**

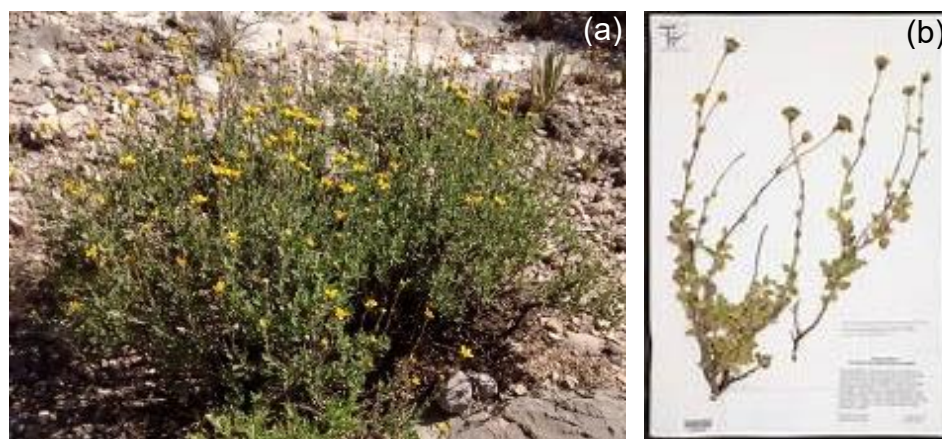
Diversas investigaciones han reportado efectos positivos al aplicar extractos vegetales en los cultivos. El uso de extractos polifenólicos de la corteza de abeto (*P. abies* L.) reportó la mejora de la capacidad de germinación de semillas de *Glycine max* L. y *Helianthus annuus* (Tanase et al., 2011). Las plantas de girasol ganaron mayor cantidad de biomasa, y los procesos fisiológicos se intensificaron significativamente (Tanase et al., 2014). La aplicación en *Ocimum basilicum* L. incrementó la elongación de tejidos y la acumulación de biomasa (Talmaciu et al., 2015). Los extractos de la corteza de abeto (*P. abies* L.) y Haya común (*Fagus sylvatica* L.) fueron aplicados en melisa (*Melissa officinalis* L.), la biomasa de elongación y la concentración de pigmentos fotosintéticos presentaron valores más altos en las plantas tratadas con extracto de corteza de Haya común en comparación con las plantas control. La aplicación de los extractos polifenólicos en *Lavandula angustifolia* Mill, dió como resultado un mejor desarrollo del tejido foliar y un aumento de la biomasa foliar (Tanase et al., 2020), y el extracto de corteza de abeto tuvo un efecto estimulante sobre la germinación (Tanase et al., 2019). Por otra parte, en una investigación realizada con extractos polifenólicos de semilla de uva, se encontró que estimulan el alargamiento de la raíz de avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.), además de la acumulación de biomasa (Ingat et al., 2011).

En las zonas semiáridas del noreste de México, se han identificado diversas especies de plantas con un alto contenido de polifenoles y actividad antioxidante (Jasso de Rodríguez et al., 2015). En el extracto de etanol de las hojas de *R. muelleri* se han identificado compuestos de naturaleza alcohólica, esterol, y fenólica, con contenido total de fenoles (CTF) de 37.9 mg/100 mg de Equivalentes de Ácido Gálico (EAG), y actividad antioxidante del 73.4% (Jasso de Rodríguez et al., 2015). Por otra parte, se han reportado que extractos de etanol de las hojas

de las plantas de *F. microphylla* y *F. retinophylla* presentaron un CTF de 31.4 y 32.5 mg/100 mg EAG, y actividad antioxidante de 94.9 y 50.0%, respectivamente. Adicionalmente, en el extracto de *F. microphylla* se han identificado compuestos de naturaleza amino fenólico, éster de ácido graso y polioles (Jasso de Rodríguez et al., 2017a). Mientras que en el extracto de *F. retinophylla* se identificaron compuestos de naturaleza amida (Jasso de Rodríguez et al., 2017b).



**Figura 1.** Hojas de *Rhus muelleri* (a) *in situ* y (b) muestra de herbario



**Figura 2.** *F. microphylla* (a) *in situ* y (b) muestra de herbario



**Figura 3.** *F. retinophylla* (a) *in situ* y (b) muestra de herbario

Estos compuestos al ser identificados en las plantas del semidesierto mexicano, han mostrado su uso como bioestimulantes, tal es el caso del extracto de *R. muelleri*, el cual ha exhibido efectividad al promotor de crecimiento y producción de fruto de tomate, lo cual se atribuye a los compuestos fenólicos y a la actividad sinérgica entre la matriz de los compuestos químicos que lo integran (Jasso de Rodríguez et al., 2020). En pimiento morrón el extracto de *F. retinophylla* promovió mayor peso de frutos por planta, volumen de fruto, y rendimiento. Además, observaron incrementos en contenido de vitamina C y sólidos solubles totales con *F. microphylla* y *R. muelleri*, respectivamente (Jasso de Rodríguez et al., 2023b).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de extractos

#### Colecta de plantas

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 y en los límites de Coahuila y Nuevo León. Las plantas fueron identificadas *in situ* por el Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla, curador del Herbario Antonio Narro Saltillo México (ANSM). Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico y transportadas al Laboratorio de Fitoquímica de la UAAAN. Se separaron las hojas de los tallos, se secaron y molieron siguiendo lo reportado por Carrillo-Lomelí et al. (2022). Brevemente, se colocaron las hojas en un horno de aire caliente (Mapsa, México), a 60 °C durante 24 h. Posteriormente, se molieron utilizando un molino modelo 4 con cuatro cuchillas de rotor (Thomas Wiley, Swedesboro, NJ, USA) con un tamiz de 2 mm. Las hojas se homogenizaron por especie y se conservaron bajo 0% humedad relativa (HR) a 25 °C.

#### Extracción de compuestos

Los extractos de *R. muelleri* (RM), *F. microphylla* (FM), y *F. retinophylla* (FR) se obtuvieron siguiendo la técnica reportada por Ramírez et al. (2001). Brevemente, se colocaron 10 g de hojas en un matraz Erlenmeyer, y se mezclaron con 500 mL de metanol al 80%. Las soluciones se conservaron a -15 °C durante 24 horas. Las soluciones fueron filtradas usando papel Whatman #1 y posteriormente al pellet se mezcló con 500 mL de metanol al 100%, y se conservó 4 horas a -15 °C. el proceso se repitió dos veces. Se combinaron los tres extractos filtrados y se eliminó el solvente con un rotaevaporador (Yamato Scientific Co., Ltd, Tokyo, Japan).

### **Preparación de combinación de extractos**

Se realizaron combinaciones de extractos a concentraciones 1:1 (w/w) para RM+FM, RM+FR, y FM+FR; así como a concentración 1:1:1 (w/w/w) para RM+FM+FR.

### **Caracterización fitoquímica**

Previo a los análisis, los tratamientos de los extractos obtenidos fueron diluidos en agua destilada a una concentración de 1:1 (w/v).

### **Contenido de fenoles totales (CFT)**

El CFT de los extractos se determinó por la técnica de Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología reportada por Jasso de Rodríguez et al. (2015).

### **Actividad antioxidante**

La actividad antioxidante de los extractos se determinó por las técnicas de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), y Poder antioxidante reductor férrico (FRAP), siguiendo las metodologías reportadas por Rodríguez-Jasso et al. (2014), y Benzie y Strain (1996), respectivamente.

### **Establecimiento de cultivo en invernadero**

#### **Ubicación del sitio experimental**

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 23' 42" latitud Norte, y 100° 59 '57" longitud Oeste, a una altitud de 1760 msnm. El cultivo se estableció en un invernadero del Departamento de Horticultura, de mediana tecnología, durante el periodo primavera-verano (abril-agosto, 2022).

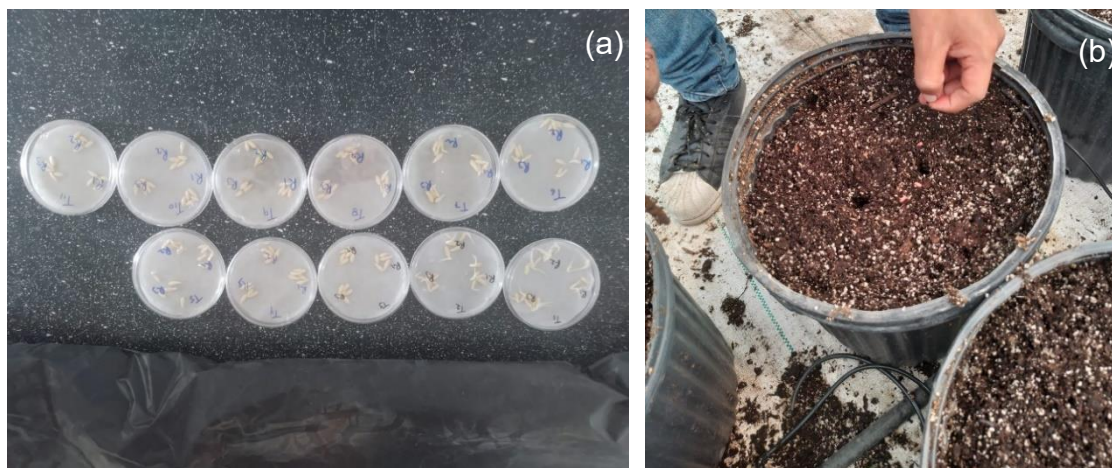
### Material de estudio

Se utilizaron semillas de pepino (*C. sativus* L.) híbrido Centauro F1 (Fito S.A., España), cuyas características son: planta vigorosa, con hojas de color verde oscuro.

### Imbibición de semilla y siembra

Las semillas de pepino se colocaron en cajas Petri que contenían las soluciones de los tratamientos (extractos), para que se imbebieran durante 24 horas (Figura 4a). Posteriormente, se realizó la siembra (27 de abril, 2023), colocando dos semillas por maceta de plástico (121) de 15 L de capacidad (Figura 4b). Se utilizó una mezcla de peat moss y perlita (70:30%, v/v) como sustrato, el cual se preparó humedeciéndolo a capacidad de campo.

Las macetas fueron cubiertas con plástico negro durante tres días, observando la radícula, tratando de controlar el alargamiento de la misma.



**Figura 4.** Imbibición de semilla (a), y siembra (b)

### Riego y fertilización

Las plantas fueron regadas con un sistema de riego por goteo, en cada maceta considerando las necesidades hídricas del cultivo. Se efectuaron 3 riegos por día (8:00, 12:00, y 16:00 h) en el ciclo de primavera, y cuatro (8:00, 12:00, 16:00, y 18:00 h) en verano, con un drenado del 20 al 25%.

Para la fertilización del cultivo, se utilizó la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984), la cual fue ajustada a un pH entre 5.5 a 6 con ácido sulfúrico al 98% y ácido fosfórico 85%, con conductividad eléctrica menor de  $2.3 \text{ mS cm}^{-1}$ . La solución nutritiva se suministró a los 15 días después de siembra, ya estando la raíz establecida, y posteriormente, en diferentes niveles de fertilización, dependiendo de la etapa fenológica del cultivo: 25% plántula (13-15 cm), 50% crecimiento vegetativo, 75% floración (Figura 5), y 100% fructificación.



**Figura 5.** Cultivo de pepino en invernadero

### **Diseño experimental**

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, con 11 tratamientos, de los cuales se evaluaron tres extractos: RM, FM, FR; cuatro combinaciones de extractos: RM+FM, FM+FR, RM+FR, RM+FM+FR; tres biorreguladores: ácido giberélico (AG), ácido indolacético (AIA), 6-

Bencilaminopurina (6-BAP); y así como un testigo sin extracto o biorregulador (TEST), con 8 repeticiones por cada tratamiento. De los datos obtenidos, se llevaron a cabo análisis de varianza (ANVA) ( $p < 0.05$ ), y prueba de comparación de medias de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ), en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.4.

### **Aplicación de tratamientos**

Los extractos se prepararon a una concentración de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  y los biorreguladores a  $75 \text{ mg L}^{-1}$  para su aplicación en plantas de pepino.

Los tratamientos se aplicaron en 7 ocasiones. La primera se realizó en la imbibición de las semillas (26 de abril, 2023) y las siguientes a los 15, 29, 44, 59, 73, y 89 días después de la siembra (DDS). La aplicación se efectuó de manera foliar, entre las 9:00 y 11:00 horas, rociando a punto de goteo los tratamientos, utilizando una barrera plástica para aislar las plantas (Figura 6).



**Figura 6.** Aplicación de tratamientos a plantas de pepino

### **Labores culturales**

#### **Poda y entutorado**

Las plantas fueron guiadas en un tallo principal. Se realizó un entutorado de las plantas de pepino para guiarlas verticalmente a los 25 DDS (Figura 7). Se utilizó una rafia soportada de alambre galvanizado calibre 12, a una altura de 3 m sobre

el nivel del suelo, lo que permitió mantener la planta erguida y evitar que hojas y frutos estuvieran en contacto con el suelo. Los brotes laterales y sarmientos que salían de los tallos principales fueron eliminados de forma manual, así como las hojas senescentes y dañadas por debajo del fruto.



**Figura 7.** Entutorado de plantas de pepino en invernadero

### **Medición de temperatura del invernadero**

La temperatura dentro del invernadero se registró diariamente, utilizando un termómetro de mercurio (Taylor). Se determinaron la temperatura mínima, máxima y la temperatura promedio.

## **Evaluación de variables de crecimiento de plantas de pepino**

### **Longitud y diámetro de tallo**

Al finalizar el ciclo del cultivo (122 DDS), se midió el crecimiento longitudinal de la planta (cm) con un flexómetro, desde el cuello de la planta hasta el ápice de la misma.

El diámetro del tallo (mm) se midió con un vernier digital (Stainless Hardened) a 3 cm de altura de la base del tallo.

### **Número de hojas**

Las hojas por planta de cada tratamiento fueron contabilizadas al finalizar el experimento (122 DDS).

### **Longitud y peso de raíz**

Se determinó la longitud (cm) y peso fresco de raíz (g).

### **Peso fresco y seco de hojas y tallos**

Las hojas y tallos se colocaron en un secador solar por 72 horas a temperaturas entre 22 y 38°C, para eliminar la humedad en tejidos y determinar materia seca en una báscula digital (Mettler PC 2000) (Tarín, 2023).

### **Evaluación de 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 encontraran en un estado ligeramente inmaduro (punto de madurez hortícola) (Figura 8). Considerando su madurez comercial de 18 a 23 cm de largo y de 3 a 6 cm de diámetro; con color verde oscuro sin amarillamiento; firmeza y brillo deseado (Casaca, 2005); realizando un total de 12 cortes.





**Figura 8.** Calidad de pepino listo para corte

Durante el periodo de cosecha se realizaron 3 muestreos, tomando de 5 plantas al azar un fruto por planta que presentara la madurez hortícola de rendimiento.

### **Número y peso de frutos por planta**

Se contaron los frutos por planta y se pesó cada fruto (gr), en una báscula digital (Mettler PC 2000), para determinar el rendimiento por planta y tratamiento (López-Elías, 2011).

### **Evaluación de calidad del fruto de pepino**

#### **Longitud y diámetro de frutos**

La longitud del fruto (cm) se determinó midiendo la distancia entre los extremos del fruto.

El diámetro ecuatorial de fruto (mm) se midió con un vernier digital, tomando 3 mediciones por fruto.

#### **Firmeza de frutos**

La firmeza del fruto se determinó utilizando un penetrómetro (QA supplies, Norfolk, VA, USA), con puntilla de 8 mm de diámetro. Se realizaron dos medidas opuestas en el eje ecuatorial, presionando directamente en el endocarpio del



fruto (López-Morales et al., 2022). La firmeza se reportó en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $\text{kgf cm}^{-2}$ ).

### **Sólidos solubles totales (SST), potencial de hidrógeno (pH), y conductividad eléctrica (CE)**

Para medir los SST, se utilizó un refractómetro digital (ATAGO, Co. Ltd., Japan). Se presionó una porción del pericarpio del fruto para obtener de 2 a 3 gotas de jugo, y se colocaron sobre la superficie de medición del prisma (Loáiciga-Arias 2023). Los datos se reportaron como grados Brix ( $^{\circ}\text{Brix}$ ).

El pH y la CE se midieron de la pulpa del fruto (Jasso de Rodríguez, 2020). Se utilizó un combo de potenciómetro y conductivímetro (Hanna Instruments Inc., Romania). La pulpa del fruto se obtuvo moliéndolo. El potenciómetro se calibró con solución Buffer.

### **Análisis estadísticos**

Con los datos obtenidos de los análisis fitoquímicos de los extractos, se realizaron análisis de varianza (ANVA) ( $p < 0.05$ ), con prueba de comparación de medias por Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.4.

Para los datos obtenidos de la evaluación en invernadero, se realizaron ANVA ( $p < 0.05$ ) con prueba de comparación de medias por Duncan ( $\alpha = 0.05$ ), con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido fitoquímico de los extractos

#### CFT de los extractos

Se observó que el mayor ( $p < 0.05$ ) CFT se obtuvo en el extracto de *F. retinophylla*, mientras que el menor ( $p < 0.05$ ) se presentó con la combinación RM+FR (Cuadro 1). Por otra parte, se observó que los valores obtenidos de CFT para FR, son similares a los que ya han sido reportados para extractos de hojas en etanol de la misma planta (Jasso de Rodríguez et al., 2017b). Sin embargo, RM y FM presentaron valores menores a los que se han reportado para extractos de las hojas en etanol. Jasso de Rodríguez et al. (2015), reportaron para el extracto de etanol de RM un valor de 33.94 mg/100 mg, el cual es mayor al observado en el presente estudio. Además, en extracto de etanol de hojas de FM se ha reportado CFT de 31.46 mg/100 mg (Jasso de Rodríguez et al., 2017b). Se puede observar que estos valores son mayores a los obtenidos en el presente estudio, sin embargo, es importante considerar que se emplearon distintos solventes para la extracción, ya que se ha reportado que con diferentes solventes se pueden obtener diversos contenidos de fenoles (Anokwuru et al., 2011).

**Cuadro 1.** Contenido de fenoles totales (CFT) y actividad antioxidante por FRAP y DPPH, de los extractos de plantas del semidesierto.

Extracto	CFT (mg/100 mg extracto)	Actividad antioxidante	
		FRAP (mM FeSO <sub>4</sub> )	DPPH (%)
RM	25.98 <sup>bc</sup>	1.18 <sup>b</sup>	64.68 <sup>a</sup>
FM	24.93 <sup>cd</sup>	1.26 <sup>b</sup>	45.42 <sup>b</sup>
FR	33.26 <sup>a</sup>	3.75 <sup>a</sup>	14.30 <sup>e</sup>
RM+FM	22.71 <sup>de</sup>	1.66 <sup>b</sup>	44.92 <sup>b</sup>
FM+FR	20.33 <sup>e</sup>	0.84 <sup>b</sup>	30.74 <sup>d</sup>
RM+FR	25.92 <sup>bc</sup>	0.80 <sup>b</sup>	37.95 <sup>c</sup>
RM+FM+FR	28.44 <sup>b</sup>	1.01 <sup>b</sup>	31.26 <sup>d</sup>

Los datos son la media de tres determinaciones. Diferentes letras en la misma columna significan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

### **Actividad antioxidante de los extractos**

En los resultados del ANVA para el ensayo de FRAP se observó que FR tuvo la mayor ( $p < 0.05$ ) actividad, comparado con los demás extractos y combinaciones, los cuales fueron iguales (Cuadro 1). Por otra parte, en el ensayo de DPPH, el mayor porcentaje ( $p < 0.05$ ) se obtuvo con RM, seguido de FM y la combinación de estos dos extractos (Cuadro 1), además el menor porcentaje se observó con FR.

La relación de los resultados de DPPH para FM y FR, es similar a la reportada por Jasso de Rodríguez et al. (2017b). Estos autores reportaron que en el extracto de etanol de FR se obtuvo una mayor actividad que FM. Por otra parte, RM presentó menor porcentaje de actividad a la que se ha reportado para el extracto en etanol (Jasso de Rodríguez et al., 2015). Respecto a FRAP, los valores obtenidos para FM y FR en el presente estudio son menores a los que se han reportado para estos extractos. Sin embargo, se ha observado que el utilizar diferentes métodos para determinar la actividad antioxidante, provee diferentes resultados, con poca correlación entre ellos (Dudonné et al., 2009) ya que se miden capacidades de reducción de diferentes especies, como lo son las especies reactivas de oxígeno (EROs) y iones de hierro. Además, se debe tomar en cuenta las técnicas de extracción, solventes utilizados y el radio de concentración de los mismos, ya que se ha reportado que estos factores influyen en el CFT, y por lo tanto en la actividad antioxidante de los extractos (Carrillo-Lomelí et al., 2022).

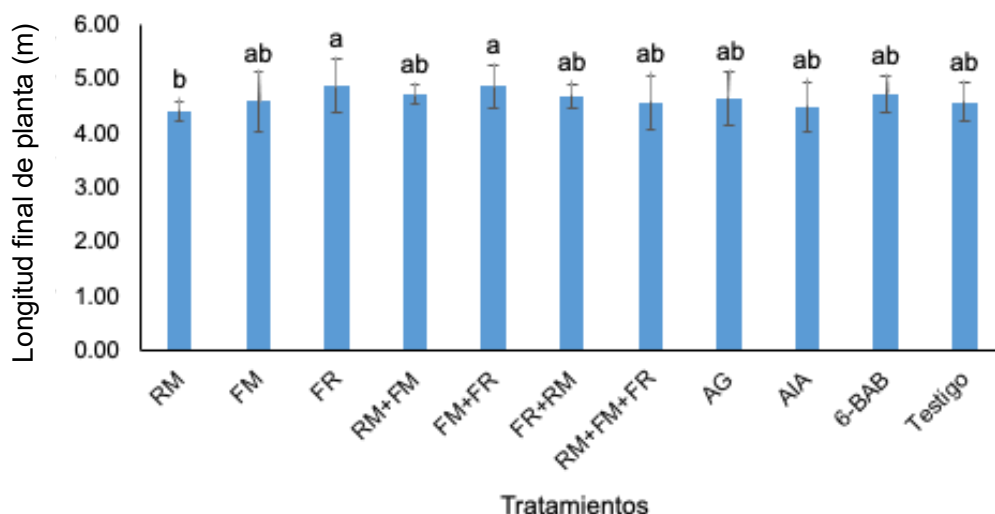
## **Evaluación en Invernadero**

### **Variables de crecimiento**

#### **Longitud de tallo**

En los resultados de longitud de tallo a los 122 DDS (Figura 9), se observó que los tratamientos FR y FM+FR, 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, FM+RM, FM+FR, y RM+FM+FR, así como con

los tres bioreguladores comerciales. Además, se observó la menor longitud de tallo en las plantas tratadas con RM.



**Figura 9.** Efecto de los tratamientos en la longitud de tallo en plantas de pepino.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, Duncan ( $p > 0.05$ )

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., 2017b), 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 de *R. muelleri*, *F. microphylla*, y *F. retinophylla* como bioestimulantes, plantas tratadas con *F. retinophylla* tuvieron mayor crecimiento 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).

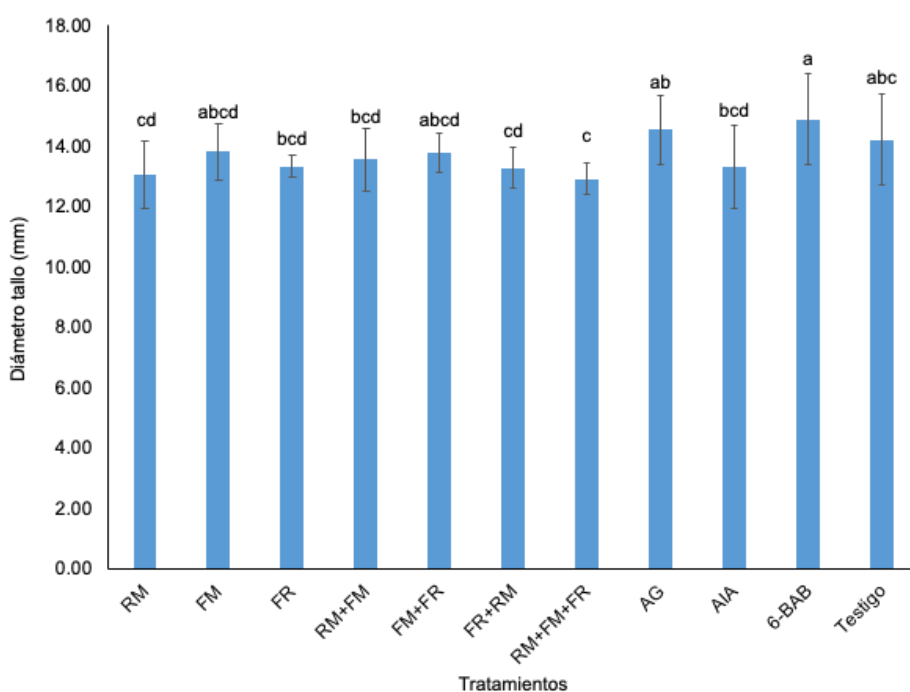
Por otra parte, AG y AIA promueven la división y la elongación celular en las plantas, estimulando los procesos de crecimiento de estas (Vega-Celedón, 2016). De acuerdo con estos resultados, se evidenció que los extractos de plantas de zonas áridas y semiáridas actúan de igual o mejor forma que los bioreguladores, 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.

### Diámetro de tallo

Respecto al diámetro de los tallos, 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 FM+RM (Figura 10).

Se ha reportado que, con el uso de extractos de algas, las medidas de diámetro de plantas de pepino fueron similares o menores al testigo sin extractos (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 10.** 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 ( $p = 0.05$ )

## **Variables agronómicas**

### **Número de hojas**

El mayor número de hojas se observó con la aplicación de 6-BAP (Cuadro 2), 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. Se notó que, dentro de los extractos, el tratamiento RM+FM+FR influyó en una mayor producción de hojas.

### **Longitud de raíz**

La mayor longitud de raíz (Cuadro 2), 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. Las longitudes variaron entre 38.76 y 57.94, notando que en los tratamientos de los extractos FM, FR, RM+FM, RM+FR y la combinación de los tres extractos tuvo aumentos desde 0.51% hasta 7.47%, con respecto al testigo.

En un estudio donde se aplicó el extracto de algas a plantas de pepino, se encontró que con una concentración de 500 mg/L (Mendez et al., 2023), la longitud de las raíces tuvo valor similar a los obtenidos con la aplicación de extractos de FM, FR, FR+RM 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 los extractos FM, FR, FR+RM y RM+FM+FR son efectivos a concentraciones menores. Esto puede atribuirse a la sinergia de los compuestos que estas plantas contienen (Jasso de Rodríguez et al, 2023b).

Además, se ha reportado la influencia de los extractos de RM, FM y FR en el crecimiento de las raíces en plantas de tomate (Jasso de Rodríguez et al. 2020), en esta investigación, observaron que estos extractos contribuyeron a aumentar la longitud de las raíces en un rango de 4.91% al 16.73% con respecto al testigo, siendo el efecto más alto el obtenido con el tratamiento de FR. Este comportamiento es similar al resultado obtenido en el presente estudio, en donde

el tratamiento con FR, también promovió el mayor aumento en la longitud radicular comparado con FM y RM.

La longitud de la raíz es un indicador importante del vigor y la salud de las plantas, por lo que se puede indicar que los tratamientos con mayores longitudes de raíz, especialmente con la aplicación de extractos, tuvieron un efecto positivo al estimular el crecimiento de las raíces. Lo anterior influye en la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes del suelo (Drobek et al., 2019), mejorando su desarrollo en general.

### **Peso fresco de hojas y tallos**

El tratamiento 6-BAP demostró significativamente el mayor ( $p < 0.05$ ) peso fresco de hojas, con valores similares al testigo y los obtenidos con los tratamientos de AG, FM, y las cuatro combinaciones de extractos (Cuadro 2). Por otro lado, los menores ( $p < 0.05$ ) pesos secos fueron observados con los tratamientos RM, FR y AIA.

En cuanto al peso fresco del tallo (Cuadro 2), el tratamiento FR+RM fue el que mostró el mayor valor, al igual que con los tres bioreguladores y el testigo, mientras que los demás tratamientos, a excepción de RM y FR, tuvieron valores similares.

Estudios sobre el uso de extractos de algas como bioestimulantes, han reportado valores de pesos frescos en plantas de pepino. Méndez et al. (2023) observaron que, con diferentes concentraciones de algas, los pesos frescos de tallos y hojas oscilaron entre 156.50 – 210.50 g y 352.84 – 453.84 g, respectivamente. Estos valores son comparables en cuanto a los pesos frescos de hojas, aunque para el tallo fueron menores en comparación a los obtenidos en el presente estudio.

De acuerdo con lo anterior, los resultados del peso fresco aéreo obtenido en este estudio oscilaron entre 556.13 y 692.25. Estos valores fueron notablemente mayores a los que se observaron por Ucan-Tucuch et al. (2023) para plantas de pepino tratadas con diversos bioestimulantes comerciales y nanopartículas de óxido de zinc. Estos autores reportaron valores de peso seco aéreo en un rango

de 442.88 – 521.06 g, los cuales fueron menores a los que se observan en este estudio para los tratados con los extractos.

### **Peso seco de hojas y tallos**

Respecto al peso seco de hojas (Cuadro 2), el mayor ( $p < 0.05$ ) peso se observó con el tratamiento de AG, el cual fue similar a todos los tratamientos, excepto a RM y FR.

Por otra parte, el mayor peso seco de tallos (Cuadro 2) fue obtenido con AG, siendo similar a todos los tratamientos con excepción de RM, FR, y FM+RM.

Los valores de pesos seco para hojas y tallos oscilaron entre 38.27 – 49.75, y 24.68 – 31.61, respectivamente. Otros autores reportaron valores entre 13.32 – 16.00 y 27.75 – 32.83 (Méndez et al., 2023), siendo notablemente menores a los obtenidos con los extractos. Lo anterior sugiere que los extractos permitieron un mejor desarrollo de la planta.

Se puede observar que los tratamientos con RM y FR no tuvieron un efecto significativo en los pesos frescos y secos de hojas y tallos al demostrar los valores más bajos en ambas variables. Sin embargo, al aplicarse en conjunto se obtuvieron aumentos significativos en los pesos. Esto quiere decir que la eficacia de los extractos se debe a la sinergia entre estos, además de los compuestos que contienen.



**Cuadro 2.** 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	Peso fresco			Peso seco	
		(g)			(g)	
		Longitud de raíz (cm)	Hojas	Tallo	Hojas	Tallo
RM	24.75 <sup>b</sup>	38.76 <sup>c</sup>	329.63 <sup>b</sup>	226.50 <sup>c</sup>	38.27 <sup>c</sup>	24.68 <sup>b</sup>
FM	25.87 <sup>ab</sup>	46.36 <sup>abc</sup>	356.13 <sup>ab</sup>	254.13 <sup>abc</sup>	45.94 <sup>abc</sup>	28.27 <sup>ab</sup>
FR	26.12 <sup>ab</sup>	43.62 <sup>bc</sup>	329.63 <sup>b</sup>	229.75 <sup>bc</sup>	41.37 <sup>bc</sup>	25.10 <sup>b</sup>
RM+FM	26.00 <sup>ab</sup>	46.64 <sup>abc</sup>	373.88 <sup>ab</sup>	259.50 <sup>ab</sup>	45.91 <sup>abc</sup>	26.44 <sup>b</sup>
FM+FR	26.62 <sup>ab</sup>	39.34 <sup>c</sup>	380.88 <sup>ab</sup>	273.13 <sup>a</sup>	47.29 <sup>abc</sup>	29.01 <sup>ab</sup>
FR+RM	26.25 <sup>ab</sup>	46.54 <sup>abc</sup>	367.25 <sup>ab</sup>	255.00 <sup>abc</sup>	43.84 <sup>abc</sup>	27.35 <sup>ab</sup>
RM+FM+FR	27.25 <sup>ab</sup>	45.92 <sup>bc</sup>	352.38 <sup>ab</sup>	256.88 <sup>abc</sup>	47.07 <sup>abc</sup>	27.40 <sup>ab</sup>
AG	27.37 <sup>ab</sup>	57.94 <sup>a</sup>	396.13 <sup>ab</sup>	274.63 <sup>a</sup>	51.52 <sup>a</sup>	31.61 <sup>a</sup>
AIA	24.25 <sup>b</sup>	46.84 <sup>abc</sup>	344.88 <sup>b</sup>	264.13 <sup>a</sup>	42.89 <sup>abc</sup>	26.66 <sup>ab</sup>
6-BAP	28.25 <sup>a</sup>	55.26 <sup>ab</sup>	429.00 <sup>a</sup>	263.25 <sup>a</sup>	49.59 <sup>ab</sup>	29.14 <sup>ab</sup>
Testigo	27.00 <sup>a<sup>b</sup></sup>	43.40 <sup>bc</sup>	355.63 <sup>ab</sup>	272.13 <sup>a</sup>	49.75 <sup>ab</sup>	28.47 <sup>ab</sup>

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

## **Variables de rendimiento**

### **Número, peso de frutos y rendimiento por planta**

La combinación 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 6-BAP, mayor peso de fruto y rendimiento por planta, similar al biorregulador AG (Cuadro 3).

Es importante señalar que, en otra investigación, con la aplicación de AG en plantas de pepino, se obtuvieron 9.91 frutos por planta y 10.34 frutos por planta con la aplicación de una combinación de AG con auxina (Dalai et al. 2020). En otro estudio en donde se aplicó Paclobutrazol, se obtuvieron 9.27 y 12 frutos por planta (Sudrajat et al., 2021). Estos resultados de número de frutos, fueron similares a los obtenidos en la presente investigación.

Los valores de peso de fruto por planta en esta investigación oscilaron entre 385.46 g y 444.99 g. 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.

Otros estudios han reportado el rendimiento de plantas de pepino tratadas con diversos bioestimulantes. Se ha evaluado la aplicación de bioestimulantes basados en hierro (Fe) y Optysil (SiO<sub>2</sub>), teniendo incrementos del 26.6% en el rendimiento/m<sup>2</sup> (Lugowska, 2019). 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 (Mendez et al., 2023); y en plantas de pepino tratadas con AG y AIA, se tuvieron rendimientos menores a 4 Kg/planta (Hikosoka et al., 2020). Estos valores fueron notablemente menores a los obtenidos 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 combinación 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 sinérgica de los componentes de los extractos que forman la combinación, *R. muelleri*, posee 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. 2021), 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., 2017b; 2022), este compuesto participa en diversos procesos fisiológicos tales como, inducción a la floración, el 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).

## **Variables de calidad de fruto**

### **Longitud y diámetro del fruto.**

En los resultados de las mediciones de la longitud de los frutos (Cuadro 4), el tratamiento de la combinación de extractos de FR+RM 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 de los fueron desde 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 (Méndez 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*. Este extracto ha demostrado el mismo efecto en frutos de pimiento. 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.

**Cuadro 3.** Efecto de los tratamientos en número de frutos por planta, peso de fruto y rendimiento por planta, en pepino (*C. sativus* L.)

Tratamientos	No. frutos/ planta	Peso de fruto (g)	Rendimiento (Kg/planta)
RM	9.00 <sup>c</sup>	402.26 <sup>a</sup>	3.63 <sup>b</sup>
FM	11.00 <sup>abc</sup>	398.47 <sup>a</sup>	4.42 <sup>ab</sup>
FR	9.60 <sup>bc</sup>	444.99 <sup>a</sup>	4.26 <sup>ab</sup>
FM+RM	11.40 <sup>abc</sup>	395.97 <sup>a</sup>	4.50 <sup>ab</sup>
FM+FR	10.40 <sup>abc</sup>	413.82 <sup>a</sup>	4.31 <sup>ab</sup>
FR+RM	10.00 <sup>abc</sup>	471.68 <sup>a</sup>	4.66 <sup>ab</sup>
RM+FM+FR	11.80 <sup>ab</sup>	429.96 <sup>a</sup>	5.07 <sup>a</sup>
AG	12.40 <sup>a</sup>	397.33 <sup>a</sup>	4.82 <sup>a</sup>
AIA	10.00 <sup>abc</sup>	385.46 <sup>a</sup>	4.02 <sup>ab</sup>
6-BAP	12.20 <sup>a</sup>	399.87 <sup>a</sup>	4.63 <sup>ab</sup>
Testigo	9.20 <sup>c</sup>	385.76 <sup>a</sup>	3.60 <sup>b</sup>

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

### Firmeza

La mayor ( $p < 0.05$ ) firmeza del fruto se obtuvo con el tratamiento de FM, con valores similares a los obtenidos por los otros tratamientos de extractos (Cuadro 4). Por otra parte, en relación con los bioreguladores comerciales, se observaron

los menores valores de firmeza, particularmente con AG, con quien obtuvo estadísticamente la menor ( $p < 0.05$ ) firmeza.

La firmeza observada para los diferentes tratamientos con los extractos tuvo valores mayores a los que se han reportado para pepino recién cosechado de plantas tratadas con nanopartículas de silicón y silicato de potasio (González-García et al., 2022).

Los extractos de RM, FM y FR han demostrado mantener la firmeza en otros frutos. En pimiento, se observó que los extractos mantienen valores similares al del tratamiento control (Jasso de Rodríguez et al., 2023b), observando el mismo comportamiento en frutos de tomate (Jasso de Rodríguez et al., 2020). 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.

### **SST y pH**

Los frutos de las plantas tratadas con la combinación de RM+FM+FR tuvieron el mayor ( $p < 0.05$ ) contenido de SST (Cuadro 4), con valores similares a RM, FM, y los bioreguladores. Los rangos de SST fueron de 2.73 – 3.33 y 3.00 – 3.03 para los tratamientos de extractos y biorreguladoras, respectivamente. 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. Este parámetro permite determinar el sabor del fruto, el cual es un factor importante de calidad (González-González et al., 2020). Resultados similares fueron obtenidos con plantas tratadas con algas. 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 TSS de 3.04 en 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.

Respecto a pH, estos variaron entre 5.60 y 5.75, con los valores más altos obtenidos con los tratamientos de FM, la combinación 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.

## **CE**

La mayor ( $p < 0.05$ ) conductividad eléctrica (Cuadro 4) fue obtenida con los tratamientos de RM+FM+FR, y los tres bio reguladores, mientras que la menor conductividad fue con FM+RM.

De acuerdo a lo anterior, se sugiere que la combinación de los tres extractos permite una mejoría en la eficiencia de la movilización de las sales solubles del suelo hacia la planta (Vigaud et al., 2022).

**Cuadro 4.** Efecto de los tratamientos en variables de calidad de fruto en pepino (*C. sativus* L.)

Tratamientos	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Firmeza (kgF cm <sup>-2</sup> )	SST (°Brix)	pH	CE (μS*cm <sup>-1</sup> )
RM	23.20 <sup>abc</sup>	51.57 <sup>ab</sup>	7.56 <sup>abc</sup>	3.13 <sup>abc</sup>	5.63 <sup>abc</sup>	3.02 <sup>abc</sup>
FM	22.46 <sup>c</sup>	49.57 <sup>b</sup>	7.72 <sup>a</sup>	3.06 <sup>abc</sup>	5.75 <sup>a</sup>	3.00 <sup>abc</sup>
FR	23.89 <sup>ab</sup>	53.87 <sup>a</sup>	7.69 <sup>ab</sup>	2.86 <sup>dc</sup>	5.55 <sup>c</sup>	2.97 <sup>abc</sup>
FM+RM	23.20 <sup>abc</sup>	51.25 <sup>ab</sup>	7.27 <sup>abcd</sup>	2.73 <sup>d</sup>	5.60 <sup>bc</sup>	2.78 <sup>c</sup>
FM+FR	23.80 <sup>ab</sup>	52.01 <sup>ab</sup>	7.57 <sup>abc</sup>	2.93 <sup>cd</sup>	5.62 <sup>abc</sup>	2.95 <sup>abc</sup>
FR+RM	24.40 <sup>a</sup>	53.61 <sup>ab</sup>	7.56 <sup>abc</sup>	3.00 <sup>bcd</sup>	5.61 <sup>abc</sup>	2.86 <sup>bc</sup>
RM+FM+FR	23.19 <sup>abc</sup>	51.63 <sup>ab</sup>	7.24 <sup>abc</sup>	3.33 <sup>a</sup>	5.72 <sup>ab</sup>	3.13 <sup>a</sup>
AG	19.19 <sup>abc</sup>	49.81 <sup>ab</sup>	6.87 <sup>d</sup>	3.00 <sup>abc</sup>	5.65 <sup>a</sup>	3.08 <sup>a</sup>
AIA	23.00 <sup>bc</sup>	50.54 <sup>ab</sup>	7.09 <sup>cd</sup>	3.00 <sup>abc</sup>	5.65 <sup>a</sup>	3.12 <sup>a</sup>
6-BAP	23.03 <sup>abc</sup>	50.63 <sup>ab</sup>	7.14 <sup>bcd</sup>	3.06 <sup>abc</sup>	5.70 <sup>a</sup>	3.16 <sup>a</sup>
Testigo	23.10 <sup>abc</sup>	50.55 <sup>ab</sup>	7.16 <sup>bcd</sup>	3.26 <sup>ab</sup>	5.67 <sup>abc</sup>	3.00 <sup>abc</sup>

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

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan la efectividad de los extractos de plantas del semidesierto, como bioestimulantes en las distintas variables determinadas en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto en pepino (*C. sativus* L.), híbrido Centauro F1.

El extracto de la combinación de RM+FM+FR mostró la más elevada actividad de los extractos evaluados para estimular mayor número de frutos, peso de fruto, rendimiento por planta, y calidad de fruto en pepino, con valores superiores o similares a los biorreguladores, por lo que puede ser utilizado como un bioestimulante orgánico. La eficiencia mostrada por la combinación de extractos podría atribuirse a los compuestos polifenólicos bioactivos que contienen, así como a la sinergia entre la matriz de compuestos químicos de la combinación de extractos.



## REFERENCIAS

- Adame J, Adame H. (2000) Plantas Curativas Del Noreste Mexicano. Ediciones Castillo. Monterrey, NL, México. 347p.
- Ahirwar CS, Singh DK, Kushwaha, ML (2017) Assessment of genetic variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) germplasm on correlation, path analysis and cluster analysis. *Chemical Science Review and Letters*, 6(23): 1886-1893.
- Anokwuru CP, Anyasor GN, Ajibaye O, Fakoya O, Okebugwu P (2011) Effect of extraction solvents on phenolic, flavonoid and antioxidant activities of three Nigerian medicinal plants. *Nature and Science* 9(7): 53–61.
- Benzie IFF, Strain JJ (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Binenbaum J, Weinstain R, Shani E (2018) Gibberellin Localization and Transport in Plants. *Trends in Plant Science* 23(5): 410-421. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.02.005>
- Bisognin, DA (2002) Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural* 32(4): 715-723. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>
- Borjas R, Julca A, Alvarado L (2020) Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 8(2): 150-164. <https://doi.org/10.36610/j.isab.2020.080200150>
- Aucapiña-Criollo CB (2016) Definición de protocolos para el uso de fitohormonas en el crecimiento de orquídeas a nivel in vitro. tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Casaca AD (2005) El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.). En Á. D. Casaca, *Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales*: 8-9.
- 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>.
- Dalai S, Singh MK, Soni S (2020) Yield and yield traits of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by foliar application of plant growth regulators. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(3): 121-126. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.015>

Diaz D (2017) Las hormonas vegetales en las plantas. Serie Nutrición Vegetal 88.

Dudonné S, Vitrac X, Coutière P, Woillez M, Mérillon JM (2009) Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 1768–1774.

<https://doi.org/10.1021/jf803011r>

Drobek, M, Frąć 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>

Du Jardin P (2015) Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196:3-14.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Ferreira NS, Matos GF, Meneses CH, Reis VM, Rouws JR, Schwab S, Rouws LF (2020) Interaction of phytohormone-producing rhizobia with sugarcane mini-setts and their effect on plant development. *Plant and Soil* 451: 221-238.

<https://doi.org/10.1007/s11104-019-04388-0>

Gao JL, Wang LW, Xue J, Tong S, Peng G, Sun YC, Zhang X, Sun JG (2020) *Rhizobium rhizophilum* sp. nov., an indole acetic acid-producing bacterium isolated from rape (*Brassica napus* L.) rhizosphere soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 70(9): 5019-5025.

<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004374>

García-Vázquez I, Calderón-Zavala G, Arévalo-Galarza ML (2023) Biorreguladores y bioestimulantes en el desarrollo, crecimiento y rendimiento de fruto de arándano biloxi. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 46(4): 383-388.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.383>

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

González-González MF, Ocampo-Alvarez H, Santacruz-Ruvalcaba F, Sánchez-Hernández CV, Casarrubias-Castillo K, Becerril-Espinosa A, Hernández-

- Herrera RM (2020) Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Frontiers in plant science* 11: 999. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00999>
- Hikosaka S, Sugiyama N (2015) Effects of exogenous plant growth regulators on yield, fruit growth, and concentration of endogenous hormones in gynoeceious parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). *The Horticulture Journal* 84(4): 342-349. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-051>
- Ignat I, Stingu A, Volf I, Popa, V. I. (2011). Characterization of grape seed aqueous extract and possible applications in biological systems. *Cellulose Chemistry and Technology* 45 (3-4): 205-209.
- Jasso de Rodríguez D, Hernández-Castillo D, Angulo-Sánchez JL, Rodríguez-García R, Villarreal Quintanilla JA, Lira-Saldivar RH (2007) Antifungal activity in vitro of *Flourensia* spp. extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium oxysporum*. *Industrial Crops and Products* 25(2): 111–16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.08.007>.
- Jasso de Rodríguez D, Trejo-González FA, Rodríguez-García R, Díaz-Jimenez 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, Carrillo-Lomelí DA, Rocha-Guzmán NE, Moreno-Jiménez, M.R., Rodríguez-García, R., Díaz-Jiménez, M.L. V, Flores-López, ML, Villarreal-Quintanilla JA (2017a) Antioxidant, anti-inflammatory and apoptotic effects of *Flourensia microphylla* on HT-29 colon cancer cells. *Industrial Crops and Products* 107: 472–481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.034>
- 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 (2017b) 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.a7n1.2342>.
- Jasso de Rodríguez 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. 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 JÁ, 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>
- 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-Elías J, Rodríguez JC, Huez MA, Garza S, Jiménez J, Leyva EI (2011) Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *Idesia* 29(2): 21-27. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000200003>
- López-Elías J (2018) La producción de hidroponía de cultivos. *Idesia* 36(2): 139-141. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-3429201800500080>
- López-Morales ML, Leos-Escobedo L, Alfaro-Hernández L, Morales-Morales AE (2022) Impacto de abonos orgánicos asociados con micorrizas sobre rendimiento y calidad nutraceutica del pepino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13(5): 785-798. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2868>
- Ługowska M (2019) Effect of bio-stimulants on the yield of cucumber fruits and on nutrient content. *African Journal of Agricultural Research* 14(35): 2112-2118. 10.5897/AJAR2019.14502.

- Majidinia M, Bishayeeb A, Yousefic B (2019) Polyphenols: Major regulators of key components of DNA damage response in cancer. *DNA Repair* 82: e102679. <https://doi.org/10.1016/j.dnarep.2019.102679> .
- 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>
- Monge-Pérez JE, Loría-Coto M (2023) Evaluación agronómica de híbridos de pepino (*Cucumis sativus* L.). *RIDTEC* 19(1): 96-101. <https://doi.org/10.33412/idt.v19.1.3781>
- 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.
- Ochoa S (2019) Todo sobre arandanos. *Red Agrícola* <https://redagricola.com/16419-2/>. Fecha de consulta: 7 de mayo del 2024.
- PennState Extension (2017) Alternativas Agrícolas. Producción de Pepino. Pensilvania. <https://extension.psu.edu/produccion-de-pepino#:~:text=Los%20pepinos%20deben%20cultivarse%20en,incluso%20con%20una%20ligera%20helada>. Fecha de consulta: 7 de mayo del 2023
- 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>
- Rodríguez-Jasso RM, Mussato SI, Pastrana L, Aguilar NC, Teixeira J (2014) Chemical composition and antioxidant activity of sulphated polysaccharides extracted from *Fucus vesiculosus* using different hydrothermal processes. *Chemical Papers* 68: 203–209. <https://doi.org/10.2478/s11696-013-0430-9>
- Rouphael Y, Colla G (2018) Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science* 9: e1655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>

- SADER (2023) Pepino mexicano, el favorito de muchos. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/pepino-mexicano-el-favorito-de-muchos>. Fecha de consulta: 11 de febrero de 2024.
- Shabani E, Ansari NA, Fayeziadeh MR (2023) Plant growth bio-stimulants of seaweed extract (*Sargassum 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>
- Shah SH, Islam S, Mohammad F, Siddiqui MH (2023) Gibberellic acid: a versatile regulator of plant growth, development and stress responses. *Journal of Plant Growth Regulation* 422: 7352–7373. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11035-7>
- SIAP (2023) Panorama Agroalimentario 2023. [https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgJw\\_uOse\\_MsOF9jZQDAm\\_FOD9/view](https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgJw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view). Fecha de consulta: 23 de febrero 2024
- Soriano-Melgar LAA, Izquierdo-Oviedo H, Saucedo-Espinosa YA, Cárdenas-Flores A (2020) Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre la calidad y capacidad antioxidante de frutos de calabacita (*Cucurbita pepo* L. var. 'Grey Zucchini'). *Terra Latinoamericana* 38(1): 17-28. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.516>
- Stavrou IJ, Christou A, Kapnissi-Christodoulou CP (2018) Polyphenols in carobs: A review on their composition, antioxidant capacity and cytotoxic effects, and health impact. *Food Chemistry* 269: 355–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.152>
- 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. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/5/052003>
- Talmaciu A, Tanase C, Volf I, Popa VI, (2015) Influence of polyphenolic compounds on *Ocimum basilicum* L. development. *Journal of Experimental and Molecular Biology* 16: 83-88.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.039>
- Tanase C, Nişca A, Mirica A, Milan A, Boz I (2019) Wood bark as valuable raw material for compounds with a bioregulator effect in lemon balm (*Melissa*



officinalis L.) plants. Applied Sciences 9(15): e3148  
<https://doi.org/10.3390/app9153148>

Tanase C, Ștefănescu R, Darkó B, Muntean DL, Fărcaș AC, Socaci SA (2020) Biochemical and histo-anatomical responses of *Lavandula angustifolia* Mill. to spruce and beech bark extracts application. Plants 9(7): e859.  
<https://doi.org/10.3390/plants9070859>

Tanase C, Stingu A, Volf I, Popa VI (2011) The effect of spruce polyphenols extract in combination with deuterium depleted water (DDW) on *Glicine max* L. and *Heliantus annuus* L. development. Journal of Experimental and Molecular Biology. 12(3): 115-120.

Tarín SB, Romero-Félix CS, Lugo-García GA, Bojórquez-Ramos C, Sánchez-Soto BH (2023) Sustancias nutritivas en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el norte de Sinaloa. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan 11(2): 274-287.  
<https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i2.504>

Trejo-Valencia R, Sánchez-Acosta L, Fortis-Hernández M, Preciado-Rangel P, Gallegos-Robles MÁ, Antonio-Cruz RDC, Vázquez-Vázquez C (2018) Effect of seaweed aqueous extracts and compost on vegetative growth, yield, and nutraceutical quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. Agronomy 8 (11): e264.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy8110264>

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>

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>.

Vigaud YE, Boix Y, Rodríguez-Fernández P (2022). Efecto del tratamiento magnético en la calidad del pepino. Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica 3(18): 14-30

Yordanova M, Filipov N (2023). Effect of the seaweed biostimulant KELPAK® on the growth of cucumber. Scientific Papers Series B. Horticulture 67(1): 708-713.

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>

Zamljen T, Šircelj H, Veberič R, Hudina M, Slatnar A (2024) Impact of two brown seaweed (*Ascophyllum nodosum* L.) biostimulants on the quantity and quality of yield in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Foods* 13(3): 401-413.  
<https://doi.org/10.3390/foods13030401>