

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN PEPINO (*Cucumis sativus* L.), BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO.

Tesis

Que presenta ESTEFANIA AZUCENA GARCIA MORENO  
Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN PEPINO (*Cucumis sativus* L.), BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO.

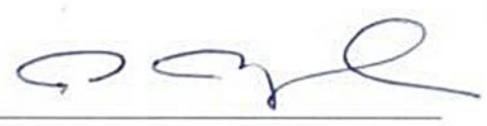
Tesis

Elaborada por ESTEFANIA AZUCENA GARCIA MORENO como requisito  
parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



---

Dr. Pedro Cano Ríos  
Asesor Principal



---

Dr. José Luis Reyes Carrillo  
Asesor



---

Dr. Héctor Mario Quiroga Garza  
Asesor



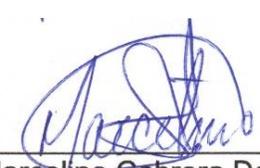
---

Dr. Pablo Preciado Rangel  
Asesor



---

Dra. Leticia Romána Gaytán Alemán  
Jefe del Departamento de Postgrado



---

Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Subdirector de Postgrado

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL).** Por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en su programa en ciencias agrarias y otorgarme todo el apoyo incondicional y las facilidades para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

**A mi asesor principal de tesis el Dr. Pedro Cano Ríos.** Agradezco infinitamente el haber encontrado no solo a un excelente profesor y asesor de tesis, sino también a un amigo incondicional, gracias su amistad y cariño sincero. Por haberme guiado académicamente con paciencia y dedicación, por poner su confianza en todos los trabajos realizados y el apoyo incondicional en la realización del trabajo de investigación.

**A mis asesores, Dr. José Luis Reyes Carrillo, Dr. Héctor Mario Quiroga Garza, Dr. pablo Precido Rangel.** Por ser parte de este equipo de trabajo, por la asesoría y por el apoyo brindado en las revisiones de tesis. Muchas gracias.

**A Esther Peña Revuelta.** Por la atención y apoyo que me brindo durante mi estancia en el postgrado. Gracias por todo su apoyo para cumplir este objetivo.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).** Por su apoyo económico para la realización de mis estudios de postgrado. Gracias porque pude cumplir un objetivo más en mi desarrollo académico.

## DEDICATORIA

En primer lugar a mi padre **DIOS** por permitirme llegar hasta este momento, brindándome salud, amor, alegrías, éxitos y poner a hermosas personas en mi camino, por nunca soltarme.

**A mis padres**, mis principales pilares Agustín García León y Ofelia Moreno Mendoza, por haberme formado como una persona con buenos principios y valores, por todo su apoyo y amor incondicional. Gracias por todos sus consejos y palabras de aliento, sin ustedes nada de esto sería posible. Los amo infinitamente.

**A mi esposo** Omar Uriel García Cruz que siempre ha estado a mi lado apoyando todos mis sueños. Gracias por estar conmigo en mis momentos más difíciles. Te amo.

**A toda mi familia y hermanos** que compartieron conmigo este camino, por estar a mi lado en la distancia, por su tiempo, por sus consejos, por sus ánimos, por su apoyo y por creer en mí.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÌNDICE DE CUADROS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÒN .....	1
1 REVISIÒN DE LITERATURA.....	3
1.1 Origen del pepino.....	3
1.2 Importancia del cultivo .....	3
1.3 Nutrici3n.....	4
1.3.1 Nutrici3n de los cultivos .....	4
1.3.2 Fertilizaci3n del cultivo de pepino hidrop3nico.....	5
1.4 Requerimientos del cultivo de pepino .....	5
1.4.1 Temperatura .....	5
1.4.2 Humedad relativa.....	6
1.4.3 pH .....	6
1.4.4 Conductividad El3ctrica .....	6
1.4.5 Suelo.....	6
1.5 Agricultura protegida.....	6
1.6 Producci3n de pepino en invernadero.....	7
1.7 Agricultura Org3nica .....	8
1.8 Rizosfera.....	9
1.9 Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal.....	10
1.10 Mecanismos de acci3n de las RPCV .....	12

1.11 Bioinoculantes.....	14
2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
2.1 Localización del experimento .....	16
2.2 Obtención de sustratos .....	16
2.2.1 Arena de río .....	16
2.2.2 Perlita.....	16
2.2.3 Composta .....	16
2.3 Llenado de macetas.....	16
2.4 Riegos para desalinizar los sustratos.....	17
2.5 Genotipo .....	18
2.6 Siembra.....	18
2.7 Rizobacterias de estudio.....	19
2.8 Inóculo .....	20
2.8.1 Preparación del inóculo .....	20
2.8.2 Inoculación de la semilla.....	20
2.8.3 Inoculación del cultivo.....	21
2.9 Tutorado y poda .....	21
2.10 Riego y fertilización .....	22
2.11 Control de plagas y enfermedades .....	23
2.12 Factores estudiados.....	24
2.13 Diseño experimental .....	24
2.14 Análisis estadístico.....	24
2.15 Cosecha.....	25
2.16 Variables a evaluar .....	25
2.16.1 Altura de planta (cm).....	25

2.16.2 Diámetro de tallo (mm) .....	26
2.16.3 Peso de los frutos (gramos) .....	26
2.16.4 Longitud del fruto (cm) .....	26
2.16.5 Diámetro del fruto (cm) .....	27
2.16.6 Firmeza del fruto .....	27
2.16.7 Sólidos Solubles (°Brix).....	28
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1 Desarrollo Vegetativo Altura .....	29
3.2 Desarrollo Vegetativo Diámetro del tallo .....	30
3.3 Rendimiento y calidad de fruto.....	32
3.3.1 Sólidos solubles .....	32
4 CONCLUSIÓN .....	34
5 REFERENCIAS.....	35
ANEXOS .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Preparación de sustrato 40 % arena, 50 % composta y 10 % perlita... 17	17
<b>Figura 2.</b> Acomodo de macetas. UAAAN-UL 2020..... 17	17
<b>Figura 3.</b> Medición de pH y CE. UAAAN-UL 2020..... 18	18
<b>Figura 5.</b> Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (RPCV) UAAAN-UL 2020. .... 20	20
<b>Figura 6.</b> Inoculación de semillas con RPCV. UAAAN-UL 2020..... 21	21
<b>Figura 8.</b> Poda de la planta de pepino. UAAAN-UL 2020..... 22	22
<b>Figura 7.</b> Tutorado de la planta de pepino. UAAAN-UL 2020..... 22	22
<b>Figura 10.</b> Identificación de frutos de pepino antes de la cosecha. UAAAN-UL 2020. .... 25	25
<b>Figura 11.</b> Medición de la longitud del fruto. UAAAN-UL 2020..... 26	26
<b>Figura 12.</b> Medición del diámetro del fruto. UAAAN-UL 2020. .... 27	27
<b>Figura 13.</b> Medición de la firmeza del fruto. UAAAN-UL 2020..... 28	28
<b>Figura 14.</b> Lectura del refractómetro. UAAAN-UL 2020. .... 28	28
<b>Figura 15.</b> Dinámica de crecimiento en altura desde los 14 hasta los 77 (DDS) en los cuatro tratamientos en las plantas de pepino ( <i>C. sativus</i> ) analizadas. UAAAN-UL, 2020..... 29	29
<b>Figura 16.</b> Respuesta del diámetro del tallo desde los 21 hasta los 70 (DDS) en los cuatro tratamientos en las plantas de pepino ( <i>C. sativus</i> ) analizadas. UAAAN-UL, 2020..... 31	31

## ÌNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos establecidos con RPCV inoculadas, dosis de fertilización y variedad de pepino bajo condiciones de invernadero. UAAAN-UL 2020.....	24
<b>Cuadro 2.</b> Altura de las plantas de los genotipos de pepino ( <i>C. sativus</i> ) con los cuatro tratamientos, predicciones expresadas en cm, para los 35, 55 y 75 días, después de la siembra, bajo condiciones de invernadero.....	30
<b>Cuadro 3.</b> Diámetro del tallo de las plantas de los genotipos de pepino ( <i>C. sativus</i> ) con los cuatro tratamientos, predicciones expresadas en mm, para los 35, 55 y 75 días, después de la siembra, con los dos genotipos y los dos niveles de fertilización, bajo condiciones de invernadero. UAAAN-UL, 2020.....	31
<b>Cuadro 4.</b> Significancia para las variables de rendimiento y calidad de fruto. UAAAN-UL 2020. ....	32
<b>Cuadro 5.</b> Media general de la variable sólidos solubles del fruto y su significancia para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.....	33

## RESUMEN

### EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN PEPINO (*Cucumis sativus* L.), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

ESTEFANÍA AZUCENA GARCÍA MORENO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. PEDRO CANO RÍOS

El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de rizobacterias en pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo condiciones de invernadero, inoculado con tres RPCV *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1), *Pseudomonas patalectis* (KBendo6p7), *Sinorhizobium meliloti* (KBendo9p6) y un testigo sin bacteria, aplicando la fórmula Steiner al 25 % desde la aparición de la segunda hoja verdadera hasta la aparición de las flores, posteriormente se cambió al 100 %. La variedad evaluada de pepino fue Poinsett 76, en un sustrato de 40 % arena + 50 % composta + 10 % perlita. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, donde las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, sólidos solubles, peso del fruto, longitud del fruto, diámetro del fruto y firmeza del fruto. Los datos fueron organizados y analizados estadísticamente en el programa SAS (Statistical Analysis System, 2002) versión 9.0 con el procedimiento ANOVA. En las variables donde hubo significancia estadística, se realizó una prueba de separación de medias por DMS con un valor de  $\alpha = 0.05$ . Para las variables de rendimiento y calidad de fruto no se encontraron valores estadísticamente significativos, excepto para la variable grados Brix, en el cual el tratamiento con *Pseudomonas* fue el que presentó el mayor contenido de sólidos solubles con 3.48 °Brix y el tratamiento testigo fue el que presentó el menor contenido de sólidos solubles con 3.22 °Brix.

**Palabras clave:** RPCV, *Acinetobacter radioresistens*, *Pseudomonas patalectis*, *Sinorhizobium meliloti*.

## ABSTRACT

### EFFECT OF RHIZOBACTERIA ON CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.), UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

ESTEFANÍA AZUCENA GARCÍA MORENO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. PEDRO CANO RÍOS

The objective of this project was to evaluate the effect of rhizobacterias in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse conditions, inoculated with three RPCV *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1), *Pseudomonas patalectis* (KBendo6p7), *Sinorhizobium meliloti* (KBendo9p6) and a control without bacteria, applying the Steiner formula at 25 % from the appearance of the second true leaf until the appearance of the flowers, later it was changed to 100%. The evaluated variety of cucumber was Poinsett 76, in a substrate of 40% sand + 50% compost + 10% perlite. A completely randomized block experimental design was used, the variables evaluated were: plant height, stem diameter, soluble solids, fruit weight, fruit length, fruit diameter and fruit firmness. The data were organized and statistically analyzed in the SAS program (Statistical Analysis System, 2002) version 9.0 with the ANOVA procedure. In the variables where there was statistical significance, a mean separation test was performed by DMS with a value of  $\alpha = 0.05$ . For the yield and fruit quality variables, no statistically significant values were found, except for the Brix degree variable, in which the treatment with *Pseudomonas* was the one that presented the highest content of soluble solids with 3.48 °Brix and the control treatment was the which presented the lowest content of soluble solids with 3.22 °Brix.

**Weywords:** *PGPR*, *Acinetobacter radioresistens*, *Pseudomonas patalectis*, *Sinorhizobium meliloti*.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura se enfrenta a una lucha en la producción de alimentos suficientes para una creciente población mundial (Katiyar *et al.*, 2018). Con el uso de agroquímicos se ha logrado incrementar la capacidad productiva de los cultivos y con ello ha aumentado la contaminación ambiental. El uso de inoculantes bacterianos, sean estos fitoestimulantes, biofertilizantes o agentes de biocontrol, integran en la actualidad una estrategia tecnológica que es más aceptada en las prácticas agrícolas sustentables de cultivos intensivos y extensivos (Creus, 2017).

La productividad de los cultivos se ve gravemente afectada por el estrés biótico y abiótico, como lo es la sequía, la salinidad, las temperaturas extremas y los patógenos, que pueden restringir el crecimiento y el desarrollo de los cultivos (Albdaiwi *et al.*, 2019). Tan solo el ataque de enfermedades en las plantas afectan la productividad causan pérdidas económicas al reducir el rendimiento de los cultivos, su calidad y al contaminar los granos alimenticios mediante la síntesis de productos químicos indeseables que son tóxicos para las plantas (Katiyar *et al.*, 2018). Los patógenos contribuyen aproximadamente a un 15 % de pérdida mundial de la producción de alimentos (Albdaiwi *et al.*, 2019). El impulso del crecimiento vegetal nace de una variedad de mecanismos moleculares, estos facilitan la obtención de recursos por parte de las plantas a partir de los propios metabolismos microbianos. Además, por medio de la producción de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, estos microorganismos logran un incremento en el desarrollo del sistema radicular, lo que trae como consecuencia una mayor absorción de nutrientes y agua (Singh *et al.*, 2016).

Existen varios grupos de microorganismos en el suelo, que aportan beneficios para los cultivos, estas son las bacterias que colonizan las raíces o el suelo rizosférico. Estas bacterias son conocidas como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV). Una gran cantidad de especies bacterianas, generalmente aquellas relacionadas con la rizosfera de la planta,

pueden aplicar un impacto lucrativo sobre la planta, en el desarrollo y supresión de enfermedades. En vista de su asociación con las plantas, RPCV puede dividirse en dos grupos: bacterias simbióticas y rizobacterias de vida libre (Katiyar *et al.*, 2018). La inoculación con RPCV es una opción sostenible que permite reducir la aplicación de fertilizantes, esto sin reducir el rendimiento y calidad de los cultivos (Espinoza-Palomeque *et al.*, 2019). El uso de RPCV pueden ofrecer una oportunidad inspiradora para mejorar rendimiento y producción de cultivos alimentarios básicos (Parray *et al.*, 2015).

En la actualidad la humanidad enfrenta el desafío de poder generar procesos rentables y sostenibles que no afecten al medio ambiente. De aquí surge la necesidad de desarrollar productos que beneficien la productividad del sector agrícola y que, a su vez, contribuyan a la mejora y conservación del suelo. El efecto del compost en el suelo continúa con el tiempo, lo que favorece una fisicoquímica y equilibrio biológico adecuado para la interacción planta-suelo. Además, la aplicación de compost disminuye los procesos erosivos y la necesidad de agregar permanentemente fertilizantes sintéticos costosos al suelo (Sánchez *et al.*, 2017).

El uso de rizobacterias y el compost pueden ser una alternativa de nutrición y control de enfermedades en la producción agrícola disminuyendo los costos de producción, así como a reduciendo el impacto ambiental generado por la disposición final de residuos orgánicos.

## 1 REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1 Origen del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) ha sido cultivado por más de 3000 años, siendo originario del sur de Asia (Bolaños-Herrera, 1998; López-Zamora, 2003). Este pertenece a la familia de las cucurbitáceas, es una hortaliza que se cultiva en verano, pero en la actualidad se logra producir durante todo el año cuando el cultivo es establecido bajo el esquema de agricultura protegida (Eroski Consumer, 2020). En la estación de primavera es cuando se logra su mayor producción, entre los meses de febrero, marzo y abril se cosecha el 44 % de la cosecha total del año (Seminis, 2018).

### 1.2 Importancia del cultivo

El pepino (*C. sativus*) en la actualidad se ha posicionado como una de las hortalizas de mayor demanda a nivel mundial (Yáñez-Juárez *et al.*, 2012), este es enviado al mercado fresco o procesado (Arias, 2007). Esta hortaliza es uno de los elementos más populares de la familia de las cucurbitáceas (Eifediyi y Remison, 2010), siendo reconocida por tener un período vegetativo corto, por poseer una gran cantidad de minerales que ayudan a reducir la presión arterial como el potasio, hierro, calcio, fósforo y magnesio (Seminis, 2018). Posee un elevado índice de consumo, tanto fresco como industrializado (Núñez-Ramírez *et al.*, 2013).

En México su importancia radica en el consumo y los recursos que son generados por su producción a nivel nacional y por su exportación (Yáñez-Juárez *et al.*, 2012). Dentro del territorio mexicano una de las regiones productivas es el Valle de Culiacán, donde se logra producir esta y otras hortalizas, que en su mayoría son exportadas. Los estados de mayor importancia en la producción de ésta hortalizas son Sinaloa, Sonora y Michoacán (Ramírez-Abarca *et al.*, 2021). México se ha logrado colocar en el octavo lugar a nivel mundial en producción de pepino, teniendo como sus principales competidores España y Holanda (Seminis, 2018).

A nivel nacional en México se cosecha una superficie promedio de 17,129.1 hectáreas (Ramírez-Abarca *et al.*, 2021). Tan solo en el ciclo agrícola 2019, en México la superficie cosechada de 16,008 ha<sup>-1</sup> con una producción total de 1, 191, 607 ton y alcanzando un rendimiento de 74.4 ton/ha<sup>-1</sup>. (SIAP, 2019). En el año 2020 la superficie cosechada fue de 15, 742 ha<sup>-1</sup>, alcanzando un producción de 1, 159, 933 ton, con un rendimiento de 73.6 ton/ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2021).

### **1.3 Nutrición**

#### **1.3.1 Nutrición de los cultivos**

La nutrición abarca el suministro y absorción de compuestos químicos que son necesarios para el desarrollo y metabolismo, requeridos por un organismo (Mengel y Kirkby, 2000). En el pasado las soluciones nutritivas fueron desarrolladas de manera empíricamente y sin tomar en cuenta la concentración de nutrientes necesarias para con ello conseguir el óptimo crecimiento de los cultivos (Juárez-Hernández *et al.*, 2006). Posteriormente se fueron llevado a cabo formulaciones nutritivas, ajustadas para el desarrollo de los cultivos establecidos en sustratos diferentes, variando la concentración (Steiner, 1984), por otro lado (Steiner, 1961; Steiner, 1984) considera que la constitución química de la solución nutritiva está definida por las proporciones relativas de aniones y cationes, así como la concentración iónica total y el pH.

De acuerdo con Silva *et al.* (2019) en cualquier cultivo, la fertilización de las plantas que mantienen niveles adecuados de nutrientes minerales promueve un aumento de la productividad, además de mantener el follaje y reducir la incidencia de enfermedades. Mengel y Kirkby (2000) consideran que los nutrientes esenciales necesarios para las plantas son únicamente de naturaleza inorgánica.

El suelo está compuesto por tres fases y estas afectan en el abastecimiento de nutrientes a las raíces de las plantas. La fase sólida es el principal depósito de nutrientes. Aquí están contenidos nutrientes como K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn y Cu,

las partículas orgánicas de esta fase suministran la principal reserva de N, además de P y S. La fase líquida es la encargada del transporte de nutrientes en el suelo (Mengel y Kirkby, 2000). Smith *et al.* (1983) señalan que muchas soluciones nutritivas han sido creadas para lograr el desarrollo de plantas sin la utilización de suelo y su formación química cambia.

### 1.3.2 Fertilización del cultivo de pepino hidropónico

Desde el punto de vista de Barraza (2017) al tener un buen manejo de la fertilización de cultivo, se logran obtener rendimientos óptimos, cuando se trabaja en ambientes protegidos y con sistemas hidropónicos el desarrollo de los cultivos se optimiza gracias al abastecimiento continuo de una solución nutritiva aplicada en el sistema de riego. La nutrición del cultivo de pepino en invernadero en México se suministra mayormente a partir de la solución nutritiva de Steiner, ajustada a diferentes concentraciones (Barraza-Álvarez, 2015).

Dentro de la fertilización se debe contar con un equilibrio de todos los elementos que son imprescindibles para un buen desarrollo, haciendo un uso correcto del agua de riego, (Arias, 2007). Este cultivo logra aumentar su almacenamiento de materia seca y su rendimiento cuando se le suministra la solución nutritiva Steiner, con los macronutrientes y micronutrientes en cantidades adecuadas (Barraza, 2018).

## 1.4 Requerimientos del cultivo de pepino

### 1.4.1 Temperatura

El pepino es un cultivo de temporada cálida con condiciones de crecimiento de 26.7 a 29.4 °C y mucha luz solar (Hochmuth, 2008).

#### 1.4.2 Humedad relativa

Los requerimientos de humedad relativa en este cultivo cambian dependiendo de su estado fenológico, en germinación y crecimiento lo óptimo es de 90 %, en floración es de 80 % y en desarrollo de frutos baja a 75 %. Cuando las plantas crecen son más susceptibles al ataque de enfermedades fungosas, si la humedad relativa es alta (López-Zamora, 2003).

#### 1.4.3 pH

El cultivo de pepino no permite una alta salinidad, siendo el pH óptimo entre 5.5 y 6.8 (Arias, 2007).

#### 1.4.4 Conductividad Eléctrica

La CE óptima está entre 2.2 y 2.7 en hidroponía. Al ser una especie que no tolera salinidad puede disminuir el rendimiento significativamente, quedando en un 10 % para 3.3 dS m<sup>-1</sup>, 25 % para 4.4 dS m<sup>-1</sup>, 50 % para 6.3 dS m<sup>-1</sup> y 100 % para 10 dS m<sup>-1</sup> (Galindo-Pardo *et al.*, 2014a).

#### 1.4.5 Suelo

Este cultivo se adapta a cualquier suelo, desde arenosos hasta franco-arcillosos, el ideal es un suelo franco rico en materia orgánica por encima de un 3.5 % (López-Zamora, 2003). Cuando el suelo no tiene estas condiciones se debe proporcionar las condiciones idóneas para prevenir los encharcamientos por exceso de agua (Arias, 2007).

### **1.5 Agricultura protegida**

La industria de los invernaderos fue desarrollada en Europa, en México inicia en los años 70 en los estados de México y Morelos, logrando desarrollarse de manera importante hasta finales de los 90 con la producción intensiva de hortalizas (Garza-Arizpe y Molina-Velázquez, 2008).

En los últimos años la horticultura en invernadero ha aumentado de forma constante en casi todo el planeta (García-Torrente y Pérez-Mesa, 2012). Como señala Nieves-García *et al.* (2011), la agricultura protegida se destina a los sistemas de producción que llevan a cabo actividades bajo una cubierta con propósito de proteger al cultivo de condiciones ambientales que lo puedan afectar.

El sistema de producción bajo agricultura protegida busca disminuir las restricciones y consecuencias originadas por fenómenos climáticos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011), o la incidencia de otros organismos vivos (Padilla-Bernal *et al.*, 2015). Incorporando las tecnologías que permitan brindar a los cultivo los requerimientos nutricionales, protección del suelo y la exposición directa a la luz solar, se aumenta significativamente los niveles de rentabilidad de los productores que cultivan en ambientes protegidos (Pratt y Ortega, 2019).

Con la implementación de la agricultura protegida ha logrado rectificar las formas en las que se producen alimentos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011). El rápido desarrollo de la agricultura protegida es atribuido a factores técnicos de producción y a factores sociales (Padilla-Bernal *et al.*, 2015). En México la agricultura protegida se encuentra dividida en tres categorías: invernaderos de tecnología alta, invernaderos de tecnología baja y casas sombra (Pratt y Ortega, 2019).

### **1.6 Producción de pepino en invernadero**

Este tipo de producción es muy popular en muchas áreas del mundo. Se pueden utilizar varios tipos diferentes de sistemas de producción y sustratos para cultivar pepino en invernadero. El establecimiento de este cultivo en invernadero normalmente es por medio de trasplante (Hochmuth, 2008). Bajo condiciones de invernadero López-Elías *et al.* (2011) enfatizan que la producción va de 2 hasta 9 veces más que en un cultivo a campo abierto, esto varía del nivel tecnológico, manejo y las condiciones climatológicas.

## 1.7 Agricultura Orgánica

Como consecuencia del uso indiscriminado de agroquímicos en la agricultura convencional, nace la agricultura alternativa. Sobresaliendo la agricultura orgánica, como un sistema de producción que logra preservar y mejorar los suelos y los ecosistemas (Zamilpa-Paredes *et al.*, 2015).

La agricultura orgánica consiste en la gestión del ecosistema, siendo un sistema integral que busca fomentar y mejorar los agroecosistemas, en especial la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo (FAO, 2014). Implementando métodos culturales, biológicos y mecánicos, en oposición a la utilización de materiales sintéticos; la fertilización orgánica logra reemplazar la fertilización con productos químicos (Valdez-Torres *et al.*, 2018).

La composición química de fertilizantes orgánicos utilizados cambia de acuerdo a su origen. Estos pueden provenir de desechos de vegetales y frutas, residuos de cosecha, estiércoles por mencionar algunos (Zhong *et al.*, 2017). En la actualidad incluyen los desechos orgánicos como desechos de procesamiento de alimentos, biosólidos municipales y desechos de algunas industrias (Westerman y Bicudo, 2005). Dentro de la agricultura orgánica se requieren insumos inocuos que puedan facilitar al suelo y a la planta los nutrientes necesarios (Roussos *et al.*, 2017). Los macronutrientes como el N, P y K en sus diferentes formas están dentro de los nutrientes más importantes para la planta (Zhong *et al.*, 2017).

El aumento de la participación de este tipo de agricultura ha aumentado en el mercado mundial en los últimos años, ya que los consumidores buscan obtener productos inocuos y de alta calidad (Martínez-Bernal *et al.*, 2012). Cabe señalar que en la primera década de este siglo, la agricultura orgánica fue el sector económico con mayor crecimiento, con una tasa del 20 % anual (Soto, 2020). Zamilpa-Paredes *et al.* (2015) mencionan que cerca del 85 % la producción en México es destinada a la exportación, siendo los países desarrollados de América del Norte y de Europa los principales países de destino. No obstante,

Estados Unidos continúa siendo el principal destino de las exportaciones de México.

Los países desarrollados iniciaron a demandar productos orgánicos a finales de los años 80, productos tropicales y de invierno que no pueden ser producidos en sus territorios (Gómez-Cruz, 2007). En la actualidad el área de producción y la comercialización de productos orgánicos a nivel mundial continua en aumento (Willer y Lernoud, 2018). Zamilpa-Paredes *et al.* (2015) hacen mención que a nivel mundial, México está en la posición 16 con 501 mil ha<sup>-1</sup>, en tercer lugar respecto al número de productores orgánicos y en la posición 40 en cuanto proporción de tierra agrícola orgánica cultivada con un 2.3 %.

### **1.8 Rizosfera**

Según la definición más importante dada por el científico alemán Hiltner L., la rizosfera se refiere al área del suelo que rodea la raíz de una planta, influenciada directa o indirectamente por la raíz (Noumavo *et al.*, 2016) esta es una región de alta actividad microbiana (Westover *et al.*, 1997). Esta área es rica en nutrientes, en vista de que hay una acumulación de una variedad de compuestos orgánicos liberados de las raíces por exudación, secreción y deposición. Debido a que estos compuestos orgánicos pueden ser utilizados como fuentes de energía y carbono por microorganismos, el crecimiento y la actividad microbiana es particularmente intensa en la rizosfera (Dobbelaere *et al.*, 2003). Esta región abarca uno de los principales medios de vida de los organismos del suelo heterogéneos, que metabolizan activamente, como las bacterias de vida libre, hongos y nematodos herbívoros foliares y radiculares menciona (Mhatre *et al.*, 2018).

Johansson *et al.* (2004) refieren que la influencia de las plantas en las comunidades microbianas se ha definido en relación con la rizosfera. En la rizosfera se dan relaciones simbióticas mutualistas entre microorganismo-planta, dado que hay exudación de nutrimentos orgánicos beneficiosos para el

metabolismo microbiano ya que la raíz brinda un nicho ecológico (González-Chávez, 2005).

Los microorganismos de la rizosfera establecen una relación con su hospedero, ayudándolo en su desarrollo y dándole resistencia a estrés biótico o abiótico. Ciertos microorganismos logran brindar nutrientes directamente y otros los ponen en condiciones asimilables por la planta, además otros ayudan producir fitohormonas (Gamalero y Glick, 2011), estos microorganismos del suelo tienen una influencia importante en la fertilidad del suelo y sanidad vegetal (Johansson *et al.*, 2004). A la vez, señala González-Chávez (2005) que tienen influencia en el desarrollo radical, regulando su actividad metabólica, asimismo interviene en las propiedades físicas y químicas del suelo. Encontrándose también microorganismos capaces también de degradar plaguicidas (Pérez-Portuondo *et al.*, 2017).

El suelo que rodea la rizosfera de las raíces de las plantas alberga muchas especies de bacterias, entre ellas se agrupan las bacterias conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Mhatre *et al.*, 2018). Entre la comunidad microbiana de la rizosfera, las rizobacterias son las más conocidas (95 %) y las más abundantes debido a su alta tasa de crecimiento. La concentración de rizobacterias en la rizosfera puede alcanzar  $10^{12}$  UFC  $g^{-1}$  de suelo. Sin embargo, en los suelos del ecosistema estresado, la carga de rizobacterias puede ser inferior a  $10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo (Noumavo *et al.*, 2016). (Albdaiwi *et al.*, 2019) señalan que suelen oscilar entre  $10^6$  y  $10^9$  UFC  $g^{-1}$  de un suelo rizosférico (Albdaiwi *et al.*, 2019).

### **1.9 Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal**

De acuerdo con Creus (2017) los microorganismos que residen en la rizosfera y además promueven el crecimiento de las plantas, se denomina como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV). La expresión RPCV fue hecha en 1978, esta describe a las bacterias que habitan en la rizósfera y que benefician el desarrollo de las plantas, siendo estas una de las microbiotas

del suelo más importantes y agrónomicamente útiles que involucra rizobacterias que promueven el crecimiento de vida libre (Zaidi *et al.*, 2015; Moreno-Reséndez *et al.*, 2018). Katiyar *et al.* (2018) destacan que una gran cantidad de especies bacterianas, generalmente aquellas relacionadas con la rizósfera de la planta, pueden aplicar un impacto sobre la planta, su desarrollo y supresión de enfermedades.

Las cepas de RPCV podrían funcionar mejor en un sistema agrícola reduciendo la entrada de químicos y fertilizantes en el suelo, ya que estas tienen la capacidad de interactuar con las plantas de diversas formas en las poblaciones microbianas del suelo, que van desde el comensalismo hasta el mutualismo. Con esta interacción de microbios vegetales de RPCV, juega un papel importante al mejorar el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Sarabia-Ochoa *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2015a). El desarrollo óptimo de las plantas se logra a través de la fijación biológica de nitrógeno, la producción de fitohormonas como las auxinas, especialmente el ácido indolacético este interviene en el crecimiento de las raíces y el aumento de pelos radiculares (Caballero-Mellado, 2006). Otros estudios mencionados por Zhuang *et al.* (2007) señalan que las RPCV intervienen en muchos procesos de biorremediación.

Los RPCV se clasifican en dos grupos principales según su grado de proximidad a las raíces de su planta huésped: (eRPCV) bacterias rizosféricas que viven fuera de las raíces de las plantas e incluyen rizobacterias de vida libre, que existen en el suelo cerca del sistema de raíces (rizosfera), o bacterias que colonizan la superficie de la raíz (rizoplano), y no producen nódulos, pero aún estimulan el crecimiento de las plantas; y (iRPCV) bacterias simbióticas que viven en el interior de los tejidos de las raíces e incluyen bacterias que habitan en espacios intercelulares, estructuras radiculares especializadas (nódulos) o en el sistema vascular (Hayat *et al.*, 2010; Albdaiwi *et al.*, 2019).

### 1.10 Mecanismos de acción de las RPCV

Las RPCV aportan beneficios en las plantas por medio de mecanismos directos e indirectos, o bien una combinación de ambos (Prasad *et al.*, 2015; Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Los mecanismos directos acontecen cuando las bacterias sintetizan metabolitos que son facilitados a la planta, o cuando intensifican la disponibilidad de elementos nutritivos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018). El mecanismo de acción directo que destaca es la producción de fitohormonas. Varias especies de los géneros *Pseudomonas*, *Azotobacter* y *Bacillus* emiten AIA, giberelinas o citoquininas; estas producen un efecto estimulador del crecimiento (Lugtenberg y Kamilova, 2009; Glick, 2012). Estimulan el crecimiento de la planta proporcionando nutrientes esenciales, incorporan a las raíces de las plantas macro y micronutrientes como los producidos por los sideróforos para la quelación de Fe (Uzoh y Babalola, 2020). Generalmente estas bacterias están involucradas en diferentes ciclos de nutrientes como el ciclo N y P; directamente los nutrientes son proporcionados a las plantas por estas bacterias a través de procesos de mineralización y solubilización de nutrientes (Kloepper *et al.*, 2007; Glick, 2012). El uso de microorganismos efectivos de fijación de nitrógeno es una oportunidad para incrementar la producción, además de mantener la estructura del suelo y la fertilidad (Singh *et al.*, 2020).

La eficiencia estimuladora del crecimiento de las plantas de los inoculantes bacterianos se ve afectada por la condición nutricional del suelo. La inoculación bacteriana tiene un efecto estimulante mucho mejor sobre el desarrollo de las plantas en suelos carentes en nutrientes (Saharan y Nehra, 2011). La fijación de nitrógeno no se realiza si el suelo es fertilizado con  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , etc. (Glick, 2012).

Benaissa *et al.* (2018) comentan que existen cepas de RPCV, que pueden crecer eficazmente bajo condiciones abióticas, estas se pueden utilizar como biofertilizantes y biocontrol de plantas. Siendo útil en la reforestación de zonas áridas.

Los mecanismos indirectos son definidos porque causan la disminución o eliminación de microorganismos fitopatógenos en la planta, ya sea mediante la elaboración de sustancias antimicrobianas o de antibióticos; la inducción de resistencia sistémica (IRS) (Beneduzi *et al.*, 2012; Esquivel-Cote *et al.*, 2013). Existen microorganismos que puedan estar en los dos grupos (Kloepper *et al.*, 1980).

Recientemente Ajinath *et al.* (2020) pudieron identificar cepas de *Pseudomonas* spp y *Bacillus* spp que tienen una potente quitina despolimerizante y antifúngica, ayudando a inhibir hongos; estas cepas redujeron significativamente la incidencia de marchitez y mejoraron la germinación de las plántulas y la biomasa vegetal. Rizobacterias que fueron aisladas demostraron ser una buena alternativa para la formulación de biofertilizantes para la producción de los cultivos (Gómez-Luna *et al.*, 2012; Ocegueda-Reyes *et al.*, 2019).

Las rizobacterias antagonistas e inductoras de resistencia podrían ser útiles para formulación de inoculantes, siendo una opción de control biológico de las enfermedades (Beneduzi *et al.*, 2012). Existen microorganismos utilizados para crear inoculantes, sobresaliendo los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* y *Streptomyces* (Creus, 2017). Existe la comercialización a gran escala de algunos RPCV como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Serratia*; sin embargo, hay numerosos nuevo RPCV como *Azoarcus*, *Exiguobacterium*, *Methylobacterium*, *Paenibacillus* y *Pantoea* con actividades beneficiosas sustanciales que no han alcanzado escalas comerciales de producción a diferencia de sus antecedentes más reconocidos (Parray *et al.*, 2015).

La colonización y la supervivencia de los microorganismos está dada por factores físicos, químicos y biológicos, además del pH, la textura del suelo, disponibilidad de nutrientes, humedad, temperatura, materia orgánica, (Bonfante y Anca, 2009; Shrivastava *et al.*, 2014). Además Kloepper *et al.*

(1989) señalan que una barrera importante para el uso agronómico exitoso de inóculos bacterianos es la necesidad de establecer altas densidades de población de la bacteria introducida.

Por otra parte Moreno-Reséndez *et al.* (2018) mencionan que para una colonización adecuada los microorganismos deben:

- 1) sobrevivir después de la inoculación.
- 2) crecer en la esfermosfera en respuesta a la producción de exudados por la semilla.
- 3) fijarse en la superficie de las primeras raíces.
- 4) colonizar todo el sistema radicular.

Por otro lado las relaciones entre las plantas y sus rizobacterias son complejas y varían según los genotipos de las plantas y las poblaciones que habitan el suelo (Kumar *et al.*, 2015a).

La inoculación con RPCV es una opción de fertilización que no compromete el rendimiento y la calidad de un cultivo (Espinoza-Palomeque *et al.*, 2019). Siendo además una alternativa para disminuir los efectos negativos al uso de agroquímicos y disminuyendo costos de producción (Ocegueda-Reyes *et al.*, 2019). Además, lo que se necesita para el futuro es una definición clara de qué rasgos bacterianos son útiles y necesarios para diferentes condiciones ambientales y plantas, de modo que se puedan seleccionar o construir cepas bacterianas óptimas (Lucy *et al.*, 2004). Debido a la falta de información sobre la diversidad microbiana de varios microorganismos, es un enfoque novedoso para explorar la diversidad microbiana desinformada en la agricultura (Sharma *et al.*, 2017).

### **1.11 Bioinoculantes**

En la fertilización química entre el 60 y 90 % del fertilizante total aplicado se pierde, y sólo el 40 y 10 % restante es aprovechado por las plantas (Bhardwaj

*et al.*, 2014). La utilización indiscriminada de fertilizantes sintéticos en los cultivos agrícolas, así como la creciente dependencia, causan degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo, además tienen un impacto variable en la composición y las funciones de la microbiota del suelo (Camelo-Rusique *et al.*, 2017).

Ante esta situación, se ha implementado la utilización de bioinoculantes en la agricultura (Hayat *et al.*, 2010). Los bioinoculantes a base de RPCV pueden ayudar a mitigar el problema de la falta de fertilidad de los suelos y disminuir el suministro de agroquímicos, fortaleciendo el enfoque de la agricultura sustentable es de vital importancia, asimismo, comprender los aspectos útiles de los bioinoculantes, ya que su aplicación representa una alternativa biotecnológica moderna para decrecer la existente tensión ambiental (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020). Los bioinoculantes contienen diversos mecanismos de acción: bioprotectores, biofertilizantes y bioestimulantes (Tjamos *et al.*, 2010).

La adaptación de herramientas moleculares está mejorando nuestra capacidad para comprender y gestionar la rizosfera y dará lugar a nuevos productos con una eficacia mejorada. El descubrimiento de muchos rasgos y genes que están involucrados en los efectos beneficiosos de RPCV ha dado como resultado una mejor comprensión del desempeño de los bioinoculantes en el campo y brinda la oportunidad de mejorar los efectos beneficiosos de las cepas RPCV por modificación genética (Prasad *et al.*, 2015). Ante esto, Mishra y Arora (2016), hacen referencia al papel de los microorganismos en la agricultura sustentable ha proporcionado nuevos conocimientos sobre la economía agrícola, y uno de los beneficios directos es la menor dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Localización del experimento**

El experimento se llevó a cabo en el invernadero del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL ubicada en carretera Santa Fe km 4, Torreón, Coahuila México. En esta región, el clima es semi-desértico. El invernadero es tipo semicircular, cubierto con plástico transparente y malla sombra al 50 %, con estructura metálica. Cuenta con un sistema de enfriamiento automatizado compuesto por una pared húmeda, cuatro ventiladores en el techo y dos extractores en la parte frontal. Con un área de 200 m<sup>2</sup> tiene en el interior piso de grava.

### **2.2 Obtención de sustratos**

#### **2.2.1 Arena de río**

Este tipo de material inorgánico fue obtenido de lecho del río Nazas, el que se encuentra en la región.

#### **2.2.2 Perlita**

Es un medio inerte que tiene una finalidad de proporcionar espacio poroso con el fin de lograr un desarrollo de raíces con mayor vigor, además facilita un mejor drenado del agua.

#### **2.2.3 Composta**

Utilizado como sustrato, el cual es utilizado para proporcionar fertilidad al suelo donde se desarrollaran las raíces.

### **2.3 Llenado de macetas**

Fueron utilizadas bolsas de polietileno negro con una capacidad de 20 litros, las cuales fueron llenadas con 18 kilogramos del sustrato a base de arena de río y perlita, en una concentración de 40 % arena 50 % composta y 10 % perlita

(Figura 1). El arreglo de las macetas fue a doble hilera, con una separación de 1.60 metros, con arreglo en tresbolillo y una separación de .30 metros de centro a centro de maceta. La densidad de población fue de cuatro macetas por metro cuadrado (Figura 2).



**Figura 1.** Preparación de sustrato 40 % arena, 50 % composta y 10 % perlita.



**Figura 2.** Acomodo de macetas. UAAAN-UL 2020.

#### **2.4 Riegos para desalinizar los sustratos**

Una vez llenadas las macetas se realizó un lavado a cada una donde se le aplicaron 8 litros de agua corriente por día, durante 5 días previo a la siembra, para lixiviar el exceso de sales del material orgánico de acuerdo a la metodología de (Cano-Ríos *et al.*, 2011). Al quinto día se tomó muestras de

agua drenada de tres macetas para medir el pH y la CE para corroborar que estuvieran dentro de los rangos óptimos (Figura 3).



**Figura 3.** Medición de pH y CE. UAAAN-UL 2020.

## 2.5 Genotipo

Se utilizó la variedad de pepino (*Cucumis sativus* L.), Poinsett 76.

## 2.6 Siembra

Un día antes de la siembra se realizó la inoculación de las semillas. La siembra se realizó manualmente, de forma directa el 09 de septiembre del 2020 colocando dos semillas en cada maceta a una profundidad de 2 centímetros, aproximadamente, después de la emergencia y antes de la inoculación se aclareo dejando una planta por maceta (Figura 4). Se utilizó un total de 120 plantas.



**Figura 4.** Siembra directa de pepino. UAAAN-UL 2020.

### **2.7 Rizobacterias de estudio**

Las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal utilizadas para este trabajo fueron: *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1), *Pseudomonas patalectis* (KBendo6p7), *Sinorhizobium meliloti* (KBendo9p6), estas fueron obtenidas de la colección de rizobacterias del Laboratorio de ecología microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. (Figura 5).



**Figura 5.** Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (RPCV) UAAAN-UL 2020.

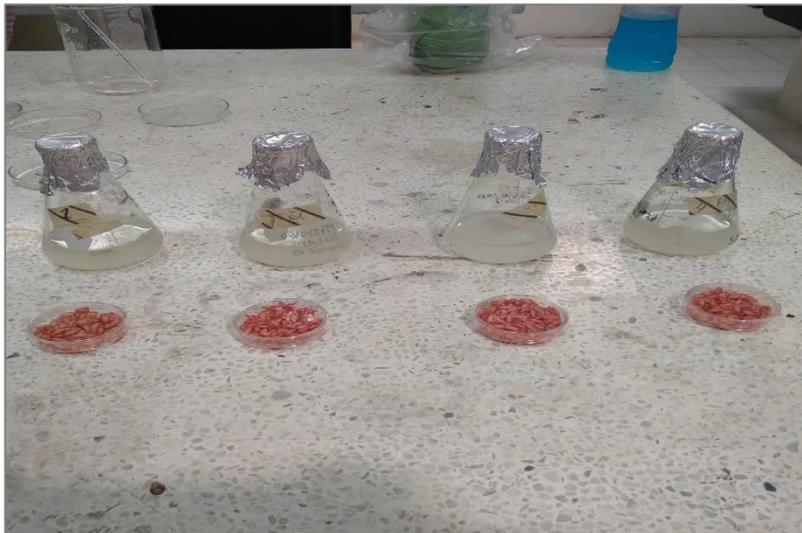
## 2.8 Inóculo

### 2.8.1 Preparación del inóculo

Las tres cepas fueron inoculadas individualmente en medio líquido LB (Luria Bertani) y colocadas en una incubadora durante 24 horas a 30 °C, con agitación de 200 revoluciones por minuto (Precisión Scientific 815<sup>®</sup>), las concentraciones bacterianas se ajustaron a  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> con buffer fosfato salino (PBS) al 0.5x.

### 2.8.2 Inoculación de la semilla

La primera inoculación de las RPCV se realizó en las semillas el día 08 de septiembre del 2020, un día antes de la siembra. Se colocaron las semillas en cuatro cajas Petri, tres para las RPCV y una para el testigo. Se les agregó la solución bacteria a una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> a tres cajas petri y agua destilada al testigo. Dejando reposar por una hora antes de llevar a refrigeración, para ser sembradas al día siguiente (Figura 6).



**Figura 6.** Inoculación de semillas con RPCV. UAAAN-UL 2020.

### 2.8.3 Inoculación del cultivo

La segunda inoculación de las RPCV se realizó el día 11 de noviembre del 2020 cuando la planta estaba en floración. La inoculación se realizó con una micropipeta, dejando caer 10 ml de la solución bacteriana, a una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ , en la parte basal del tallo de la plántula para que penetrara directamente en la raíz. Para el tratamiento testigo no hubo aplicación.

## 2.9 Tutorado y poda

El tutorado se comenzó a los 20 días después de la siembra (dds). La sujeción se realizó con hilo de polipropileno (rafia) sujeto con anillos de tutorado de uno de sus extremos de la base de la planta y de otro a un alambre por encima de la planta. Los anillos de tutorado fueron colocados conforme la planta fue creciendo (Figura 7).

La poda se realizó con tijeras de podar marca Truper®, esta se comenzó a realizar cuando comenzaron a crecer brotes laterales, los cuales eran eliminados junto con hojas basales viejas; esto con el fin de optimizar el crecimiento de tallo principal. Al inicio de la cosecha se comenzaron a eliminar las hojas que restringían el paso de la luz solar a los frutos más grande (Figura 8).



**Figura 7.** Tutorado de la planta de pepino. UAAAN-UL 2020.



**Figura 8.** Poda de la planta de pepino. UAAAN-UL 2020.

## 2.10 Riego y fertilización

El riego se aplicó de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo, se inició con  $\frac{1}{2}$  litro diario por maceta y después se le fue aumentando según las etapas y necesidades del cultivo. Para la preparación de la solución nutritiva Steiner (SN) al 100 %. La SN fueron preparadas a partir de Nitrato de Calcio (Multical 15.5-0-0), Nitrato de magnesio (Magnisal 11-0-0+16 MgO), Multi-NPK (13-2-44), Siarczan Potasu (0-0-51), Librel Mix-Al (Micronutrientes).

### 2.11 Control de plagas y enfermedades

Para el monitoreo de plagas se colocaron trampas amarillas a una distancia de un metro de abajo hacia arriba según el crecimiento de la planta, entre más altas las plantas las trampas se subían más esto se llevó acabo como atrayente de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y pulgón (*Myzus persicae*). Durante el ciclo se presentó la plaga de mosquita blanca (*B. tabaci*) la cual se controló con insecticida Muralla Max, cuya dosis fue 3 ml por litro de agua, asperjándose en las tardes en intervalos de cuatro días. La enfermedad que se presento fue mildiu polvoriento o cenicilla (*Erysiphe cichoracearum* DC y *Podosphae raxanthii* (Px) Castang la cual fue controlada con fungicida Promyl (benomilo), aplicando una dosis de 3.5 g por litro de agua, las aplicaciones se realizaron una vez por semana (Figura 9).



**Figura 9.** Aplicación de insecticida Muralla Max para control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*). UAAAN-UL 2020.

## 2.12 Factores estudiados

Bacterias

A1 = Testigo

A2 = KBendo3p1 (*Acinetobacter radioresistens*)

A3 = KB endo6p7 (*Pseudomona patalectis*)

A4 = KBendo9p6 (*Sinorhizobium meliloti*)

## 2.13 Diseño experimental

Fue utilizado un diseño experimental de bloques completamente al azar. En el Cuadro 1 se muestra la identificación de los tratamientos.

**Cuadro 1.** Tratamientos establecidos con RPCV inoculadas, dosis de fertilización y variedad de pepino bajo condiciones de invernadero. UAAAN-UL 2020.

TRATAMIENTO	BACTERIA	SUSTRATO	VARIEDAD	SOLUCIÓN
T1	Testigo	Con composta	Poinsett 76	100%
T2	KBendo3p1 ( <i>Acinetobacter radioresistens</i> )	Con composta	Poinsett 76	100%
T3	KBendo6p7 ( <i>Pseudomona patalectis</i> )	Con composta	Poinsett 76	100%
T4	KBendo9p6 ( <i>Sinorhizobium meliloti</i> )	Con composta	Poinsett 76	100%

## 2.14 Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System, 2002) versión 9.0 con el procedimiento ANOVA. En las variables donde hubo significancia estadística, se realizó una prueba de comparación de medias por DMS, con un valor de  $\alpha = 0.05$ .

## 2.15 Cosecha

Antes de retirar los frutos de la planta, se marcaban todos los aptos para cosecha con la identificación de la maceta para proceder con la toma de sus datos. Se realizaron tres cosechas. Se consideraban los frutos listos para la cosecha los que tenían el desprendimiento de la flor o ausencia de espinas (Figura 10).



**Figura 10.** Identificación de frutos de pepino antes de la cosecha. UAAAN-UL 2020.

## 2.16 Variables a evaluar

### 2.16.1 Altura de planta (cm)

Para la medición de esta variable se utilizó un flexómetro (Truper®, México) de 5 metros, registrando la altura en centímetros y se procedió a medir desde la base del tallo hasta la yema apical de la planta. A los 14, 21, 28, 35, 42,49, 56, 63,70 y 77 días después de la siembra (DDS).

### 2.16.2 Diámetro de tallo (mm)

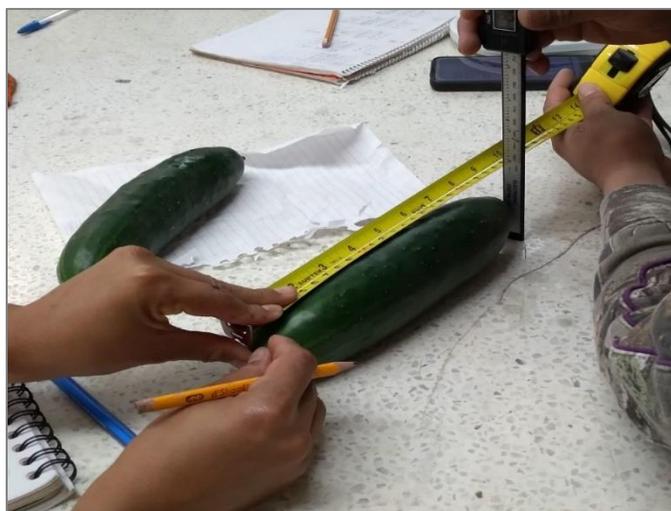
Se tomó en la base de la medición del tallo de la planta para la primera medición, a la altura correspondiente de los 14 días, la segunda a la altura registrada de cada planta a los 21 días y así sucesivamente a los 28, 35, 42,49, 56, 63,70 y 77. Para esto se utilizó un vernier digital de la marca Truper® CALDI-6MP, se midió en mm, a los 21, 28, 35, 42, 49,56, 63 y 70 días después de la siembra (DDS).

### 2.16.3 Peso de los frutos (gramos)

Se pesó con una báscula digital después del corte (Figura 10). Los frutos que presentaron madurez fisiológica durante el estadio de producción se cortaron en forma individual se le determinó el peso; para esta variable se utilizó una báscula digital Santul® modelo 5927 con capacidad de cinco kilogramos. Los datos se registraron en gramos.

### 2.16.4 Longitud del fruto (cm)

Para la medición de esta variable se utilizó un flexómetro (Truper®, México) de 5 metros (Figura 11).



**Figura 11.** Medición de la longitud del fruto. UAAAN-UL 2020.

### 2.16.5 Diámetro del fruto (cm)

Se utilizó un vernier digital de la marca Truper® CALDI-6MP, se midió en mm.



**Figura 12.** Medición del diámetro del fruto. UAAAN-UL 2020.

### 2.16.6 Firmeza del fruto

Se tomó con un penetrómetro Exttech® FHT200, se introdujo a cada pepino tres veces sacando un promedio, la lectura fue tomada en Kilogramos.



**Figura 13.** Medición de la firmeza del fruto. UAAAN-UL 2020.

#### 2.16.7 Sólidos Solubles (°Brix)

Se tomó con el refractómetro Digital OUTEST RZ117 28-62 °Brix para determinar los sólidos solubles (°Brix), aplicando una gota de jugo de la pulpa del pepino, observando y tomando la lectura.

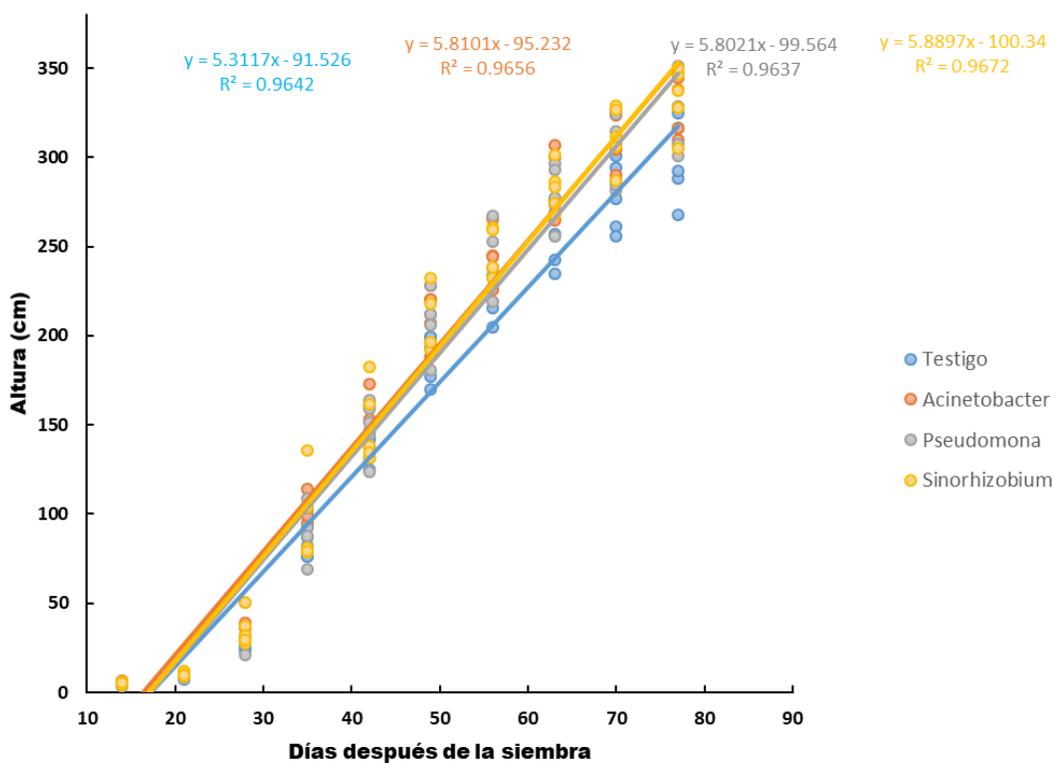


**Figura 14.** Lectura del refractómetro. UAAAN-UL 2020.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Desarrollo Vegetativo Altura

La dinámica de crecimiento de altura de las plantas de pepino (*C. sativus*) en los tratamientos evaluados se ajustó a técnicas de regresión lineal, siendo la variable dependiente (y) es altura (cm) y la variable independiente (x) días después de la siembra (DDS). De acuerdo con las ecuaciones de regresión obtenidas el ajuste lineal para todos los tratamientos fue aceptable ya que el  $R^2$  fluctuó de 96 % en la variable altura. En la figura 15 se puede observar la dinámica de crecimiento.



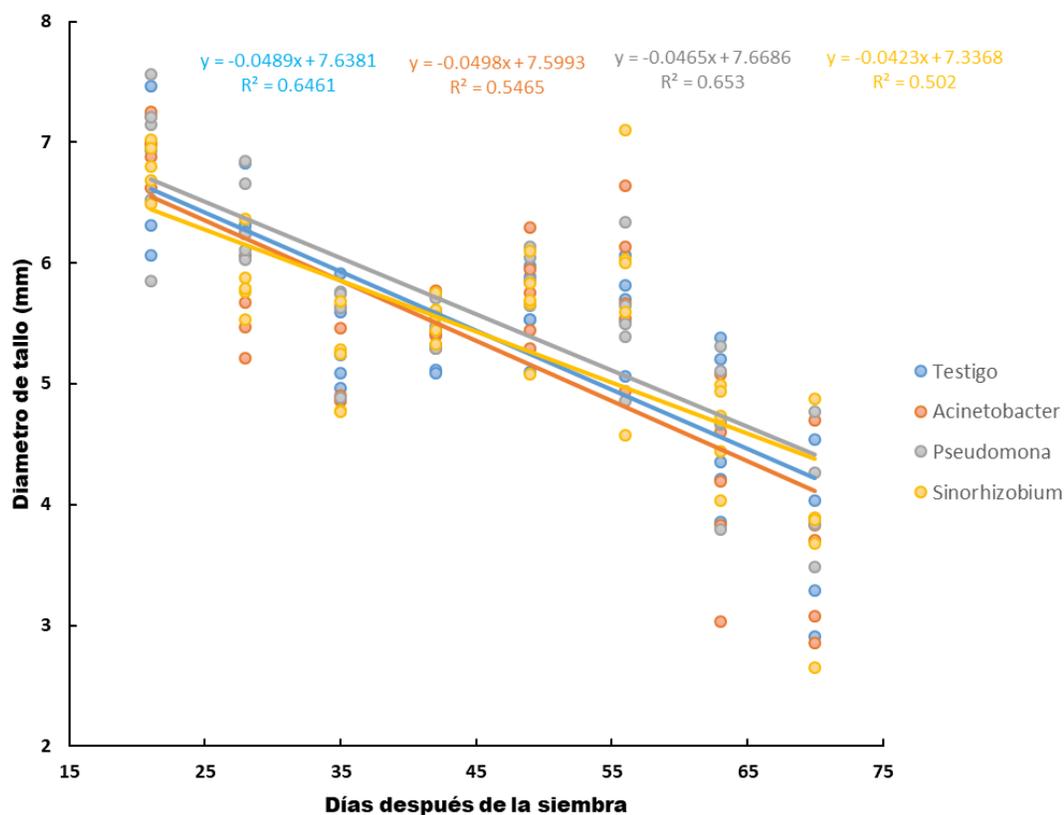
**Figura 15.** Dinámica de crecimiento en altura desde los 14 hasta los 77 (DDS) en los cuatro tratamientos en las plantas de pepino (*C. sativus*) analizadas. UAAAN-UL, 2020.

**Cuadro 2.** Altura de las plantas de los genotipos de pepino (*C. sativus*) con los cuatro tratamientos, predicciones expresadas en cm, para los 35, 55 y 75 días, después de la siembra.

TRATAMIENTO	$R^2$	MODELO	CRECIMIENTO		
			35	55	75
Testigo	0.96	$y = 5.3117x - 91.526$	94.4	200.6	306.9
<i>Acinetobacter</i>	0.97	$y = 5.8101x - 95.232$	108.1	224.3	340.5
<i>Pseudomona</i>	0.96	$y = 5.8021x - 99.564$	103.5	219.6	335.6
<i>Sinorhizobium</i>	0.97	$y = 5.8897x - 100.34$	105.8	223.6	341.4

### 3.2 Desarrollo Vegetativo Diámetro del tallo

La dinámica de crecimiento del diámetro de tallo de las plantas de pepino (*C.sativus*) en los tratamientos evaluados se ajustó a técnicas de regresión lineal, siendo la variable dependiente (y) diámetro y la variable independiente (x) los días después de la siembra (DDS). De acuerdo con las ecuaciones de regresión obtenidas el ajuste lineal para todos los tratamientos no fue aceptable ya que la  $R^2$  fue muy bajo fluctuó de 50 a 65 % del diámetro. En las figura16 se puede observar la dinámica de crecimiento.



**Figura 16.** Respuesta del diámetro del tallo desde los 21 hasta los 70 (DDS) en los cuatro tratamientos en las plantas de pepino (*C. sativus*) analizadas. UAAAN-UL, 2020.

**Cuadro 3.** Diámetro del tallo de las plantas de los genotipos de pepino (*C. sativus*) con los cuatro tratamientos, predicciones expresadas en mm, para los 35, 55 y 75 días después de la siembra.

TRATAMIENTO	$R^2$	MODELO	CRECIMIENTO		
			35	55	75
Testigo	0.65	$y = -0.0489x + 7.6381$	5.9266	4.9486	3.9706
<i>Acinetobacter</i>	0.55	$y = -0.0498x + 7.5993$	5.8563	4.8603	3.8643
<i>Pseudomona</i>	0.65	$y = -0.0465x + 7.6686$	6.0411	5.1111	4.1811
<i>Sinorhizobium</i>	0.50	$y = -0.0423x + 7.3368$	5.8563	5.0103	4.1643

### 3.3 Rendimiento y calidad de fruto

Con base en los resultados obtenidos se efectuó el análisis de varianza para las variables rendimiento y calidad del fruto, en los cuales no se encontraron valores estadísticamente significativos, excepto para la variable grados Brix. Los resultados se muestran a continuación en el cuadro 3.

**Cuadro 4.** Significancia para las variables de rendimiento y calidad de fruto. UAAAN-UL 2020.

VARIABLE	MEDIA	SIGNIFICANCIA	C.V	DMS (0.05)
LONFRU (cm)	20.396	NS <sup>2</sup>	4.32%	1.21
DIAFRUT (mm)	4.975	NS	3.17%	0.22
SÓLIDOS (°Brix)	3.345	* <sup>1</sup>	4.39%	0.20
PESFRUT (kg)	3.469	NS	36.79%	1.76
FIRFRUT (kg)	6.065	NS	5.73%	0.48

<sup>1</sup>Significativo al 5% y <sup>2</sup>No significativo.

#### 3.3.1 Sólidos solubles

El análisis de varianza detectó diferencia significativa para los tratamientos evaluados en este experimento (Cuadro A1). En el cuadro 4 muestra los resultados de los tratamientos, su media y significancia. El tratamiento con *Pseudomona* fue el que presentó el mayor contenido de sólidos solubles con 3.48 °Brix e igual estadísticamente a los tratamientos de *Sinorhizobium* y *Acinetobacter*, el tratamiento testigo fue el que presentó el menor contenido de sólidos solubles con 3.22 °Brix y estadísticamente diferente a *Pseudomona*. De acuerdo con (Kumar *et al.*, 2015b) combinar un sustratos orgánicos y RPCV se logran obtener frutos con un mayor contenido de sólidos solubles. Los resultados obtenidos por Galindo-Pardo *et al.* (2014b) señalan que en cuanto a calidad del fruto, los resultados con sustratos orgánicos utilizados se logra una mayor nutrición en el cultivo de pepino. Obteniendo mediante nutrición orgánica una media de 2.5 °Brix; siendo mayor la media encontrada en nuestro experimento, cuando se adicionando las RPCV. Mientras en otros estudios en cultivo de tomate (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2017; González-Rodríguez *et al.*,

2018) se encontró un mayor contenido de °Brix entre tratamientos que si fueron inoculados con rizobacterias.

**Cuadro 5.** Media general de la variable sólidos solubles del fruto y su significancia para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>MEDIA (°BRIX)</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<i>Pseudomona</i>	3.48	A
<i>Sinorhizobium</i>	3.36	AB
<i>Acinetobacter</i>	3.32	AB
<i>Testigo</i>	3.22	B
<b>C.V 4.39 %</b>		<b>DMS (0.05) 0.20</b>

Letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa, según prueba DMS ( $P \leq 0.05$ ).

#### **4 CONCLUSIÓN**

La inoculación de rizobacterias crecimiento promotoras vegetal (RPCV) y la utilización del sustrato a base de compost logro incrementar la respuesta en la calidad del pepino, producido bajo condiciones de invernadero; específicamente el uso de la cepa *Pseudomona* tuvo un efecto positivo en el contenido de sólidos solubles. En cuanto a las demás variables evaluadas no se encontró diferencias significativas.

El uso RPCV y el compost pueden ser una alternativa de fertilización en la producción de pepino en agricultura protegida.

## 5 REFERENCIAS

- Ajinath, D., P. Sangeeta y A. Asha 2020. "Isolation and efficacy of native chitinolytic rhizobacteria for biocontrol activities against fusarium wilt and plant growth promotion in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.)." *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 30 (56): 1-12.
- Albdaiwi, R. N., H. K. Horani y J. Y. Ayad 2019. "Plant growth-promoting rhizobacteria: an emerging method for the enhancement of wheat tolerance against salinity stress- (Review)." *Jordan Journal of Biological Sciences* 12 (5): 525 - 534.
- Arias, S. 2007. "Producción de pepino." *USAID-RED Proyecto de diversificación económica rural*: 1-7.
- Barraza-Álvarez, F. V. 2015. "Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales." *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9 (1): 60-71.
- Barraza, F. V. 2017. "Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico." *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* 11 (2): 343-350.
- Barraza, F. V. 2018. "Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)." *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* 12: 611-620.
- Benaissa, A., R. Djebbar y A. Abderrahmani 2018. "Diversity of plant growth promoting rhizobacteria of rhustripartitusin arid soil of algeria (ahaggar) and their physiological properties under abiotic stresses." *Advances in Horticultura Science* 32 (4): 525-534.
- Beneduzi, A., A. Ambrosini y L. M. P. Passaglia 2012. "Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents." *Genetics and Molecular Biology* 35 (4): 1044-1051.
- Bhardwaj, D., M. W. Ansari, R. K. Sahoo y N. Tuteja 2014. "Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity." *Microbial Cell Factories* 13 (66): 1-10.
- Bolaños-Herrera, A. 1998. "Introducción a la olericultura." *EUNED Editorial Universidad Estatal a Distancia*: 156-157.
- Bonfante, P. y I. A. Anca 2009. "Plants, mycorrhizal fungi, and bacteria: A network of interactions." *Annual Review Microbiology* 63: 363-383.
- Caballero-Mellado, J. 2006. "Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas." *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48 (2): 154 - 161.
- Camelo-Rusinque, M., A. Moreno-Galván, F. Romero-Perdomo y R. Bonilla-Buitrago 2017. "Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante." *Revista Argentina de Microbiología* 49 (3): 289-296.
- Cano-Ríos, P., U. Figueroa-Viramontes, J. M. Cruz-Martinez, I. A. Araiza-Escalera y A. Moreno-Reséndez 2011. "Determinación del requerimiento de lavado y fitotoxicidad en compostas y sustratos para la producción en

- invernadero. ." In M. Fortis, E. Salazar, J. Dimas López, & P. Preciado (Eds.), *Agricultura Orgánica* (cuarta par, pp. 320–334). Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Creus, C. M. 2017. "Microbial inoculants: Pieces of a puzzle that still needs to be assembled." *Revista Argentina de Microbiología* 49 (3): 207-209.
- Dobbelaere, S., J. Vanderleyden y Y. Okon 2003. "Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere." *Critical Reviews in Plant Sciences* 22 (2): 107–149.
- Eifediyi, E. K. y S. U. Remison 2010. "Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is an important vegetable and one of the most popular members of the Cucurbitaceae family." *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 2 (7): 216-220.
- Eroski Consumer, H. y. v. 2020. "Guía práctica de verduras." Disponible: <https://verduras.consumer.es/pepino/introduccion>.
- Espinosa-Palomeque, B., A. Moreno-Reséndez, P. Cano-Ríos, V. d. P. Álvarez-Reyna, J. Sáenz-Mata, H. Sánchez-Galván y G. González-Rodríguez 2017. "Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afrodita en invernadero." *Terra Latinoamericana* 35: 169-178.
- Espinosa-Palomeque, B., P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, J. C. Rodríguez-Ortiz, A. Moreno-Reséndez y J. L. Reyes-Carrillo 2020. "Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura sustentable." *Estudios sobre el manejo orgánico del suelo en el norte de México*: 13-40.
- Espinoza-Palomeque, B., P. Cano-Ríos, L. Salas-Pérez, J. L. García-Hernández, P. Preciado-Rangel, J. Sáenz-Mata y J. L. Reye-Carrillo 2019. "Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate " *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 21 (3): 100-107.
- Esquivel-Cote, R., M. Gavilanes-Ruiz, R. Cruz-Ortega y P. Huante 2013. "Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión." *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3): 251-258.
- FAO 2014. "Organic Agriculture." Disponible: <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/es/>.
- Galindo-Pardo, F. V., M. Fortis-Hernández, P. Preciado-Rangel, R. Trejo-Valencia, M. Á. Segura-Castruita y J. A. Orozco-Vidal 2014a. "Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido\*." *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 5: 1219-1232.
- Galindo-Pardo, F. V., M. Fortis-Hernández, P. Preciado-Rangel, R. Trejo-Valencia, M. Á. Segura-Castruita y J. A. Orozco-Vidal 2014b. "Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (7): 1219-1232.

- Gamalero, E. y B. R. Glick 2011. "Mechanisms used by plant growth-promoting bacteria." In: D.K. Maheshwari (ed.). *Bacterias in Agrobiología: Plant Nutrient Management*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 17-46.
- García-Torrente, R. y J. C. Pérez-Mesa 2012. "Invernaderos, innovación para la productividad y el medioambiente." *Cuaderno de Estudios Agroalimentarios* Disponible: <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-548.pdf>: 7-21.
- Garza-Arizpe, M. y M. Molina-Velázquez 2008. "Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León." SAGARPA, México: 1-183.
- Glick, B. R. 2012. "Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications." *Scientifica* 1: 1-15.
- Gómez-Cruz, M. A. 2007. "La agricultura orgánica en México." *Revista Vinculando*. Disponible: [https://vinculando.org/organicos/directorio\\_de\\_agricultores\\_organicos\\_en\\_mexico/la\\_agricultura\\_organica\\_en\\_mexico.html?format=pdf](https://vinculando.org/organicos/directorio_de_agricultores_organicos_en_mexico/la_agricultura_organica_en_mexico.html?format=pdf).
- Gómez-Luna, B. E., A. Hernández-Morales, C. H. Herrera-Méndez, G. Arroyo-Figueroa, L. Vargas-Rodríguez y V. Olalde-Portugal 2012. "Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*Psidium guajava*)." *Ra Ximhai* 8 (3): 97-102.
- González-Chávez, M. d. C. Á. 2005. "Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos." *Terra Latinoamericana* 23 (1): 29-37.
- González-Rodríguez, G., B. Espinosa-Palomeque, P. Cano-Ríos, A. Moreno-Reséndez, L. Leos-Escobedo, H. Sánchez-Galván y J. Sáenz-Mata 2018. "Influence of rhizobacteria in production and nutraceutical quality of tomato fruits under greenhouse conditions." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (2): 367-379.
- Hayat, R., S. Ali, U. Amara, R. Khalid y I. Ahmed 2010. "Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: A review." *Annals of Microbiology* 60: 579-598.
- Hochmuth, R. C. 2008. "Greenhouse cucumber production - Florida greenhouse vegetable production handbook." *University Of Florida IFAS Extension* 3 (1): 1-7.
- Johansson, J. F., L. R. Paul y R. D. Finlay 2004. "Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture." *FEMS Microbiology Ecology* 48: 1-13.
- Juárez-Hernández, M. D. J., G. A. Baca-Castillo, L. A. Aceves-Navarro, P. Sánchez-García, J. L. Tirado-Torres, J. Sahagún-Castellanos y M. T. Colinas-De León 2006. "Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal." *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América* 31 (4): 246-253.
- Katiyar, D., H. A. y D. P. 2018. "Plant growth promoting rhizobacteria and their roles as fungal biocontrol agents: An overview." *The Journal of Plant Science Research* 34 (2): 127-136

- Kloepper, J., A. Gutierrez-Estrada y J. McInroy 2007. "Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria." *Canadian Journal of Microbiology* 53 (2): 159-167.
- Kloepper, J. W., M. N. Schroth y T. D. Miller 1980. "Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield." *Phytopathology* 70: 1078-1082.
- Kloepper, J. W., R. Lifshitz y R. M. Zablutowicz 1989. "Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity." *Trends In Biotechnology* 7: 39-44.
- Kumar, A., I. Bahadur, B. R. Maurya, R. Raghuwanshi, V. S. Meena, D. K. Singh y J. Dixit 2015a. "Does a plant growth promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability?" *Journal of Pure And Applied Microbiology* 9 (1): 715-724.
- Kumar, N., H. K. Singh y P. K. Mishra 2015b. "Impact of organic manures and biofertilizers on growth and quality parameters of strawberry cv. Chandler." *Indian Journal of Science and Technology* 8 (15): 1-6.
- López-Elías, J., J. C. Rodríguez , M. A. Huez, S. Garza, J. Jiménez y E. I. Leyva 2011. "Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda." *IDESIA (Chile)*. 9 (2): 21-27.
- López-Zamora, C. M. 2003. "Cultivo de Pepino." *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal* 17: 8.
- Lucy, M., E. Reed y B. R. Glick 2004. "Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria." *Antonie van Leeuwenhoek* 86: 1-25.
- Lugtenberg, B. y F. Kamilova 2009. "Plant-growth-promoting rhizobacteria." *Annual Reviews Microbiology* 63: 541-556.
- Martínez-Bernal, L. F., P. L. Bello-Rodríguez y O. F. Castellanos-Domínguez 2012. "Sostenibilidad y desarrollo, el valor agregado de la agricultura orgánica." *Universidad Nacional de Colombia*.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby 2000. "Principios de nutrición vegetal " *Instituto Internacional de la Potasa* 4ta. Edición. Basilea, Suiza: 11, 25, 60.
- Mhatre, P. H., C. Karthik, K. Kadirvelu , K. L. Divya, E. P. Venkatasalam, S. Srinivasan, G. Ramkumar, C. Saranya y R. Shanmuganathan 2018. "Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio-control." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 1-34.
- Mishra, J. y N. K. Arora 2016. "Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: A sustainable approach." *Springer India*: 3-33.
- Moreno-Reséndez, A., J. Aguilar-Durón y A. Luévano-González 2011. "Características de la agricultura protegida y su entorno en México." *Revista Mexicana de Agronegocios* 29: 763-774.
- Moreno-Reséndez, A., V. García-Mendoza, J. L. Reyes-Carrillo, J. Vásquez-Arroyo y P. Cano-Ríos 2018. "Rhizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable." *Revista Colombiana de Biotecnología* 20 (1): 68-83.

- Nieves-García, V., O. Van der Valk y A. Elings 2011. "Mexican protected horticulture." Ministry of Economic Affairs, Agriculture e Innovation: 106.
- Noumavo, P. A., N. A. Agbodjato, F. B. Moussa, A. Adjanohoun y L. B. Moussa 2016. "Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture." African Journal of Biotechnology 15 (27): 1452-1463.
- Núñez-Ramírez, F., R. L. Grijalva-Contreras, F. Robles-Contreras, F. Morales-Maza, R. Macías-Duarte, C. Ceceña-Duran, M. C. Ruiz-Alvarado, L. F. Escoboza-García, L. Cervantes-Días, M. Tolosa-Avendafio, C. Villalaz-Palma y A. Escoto-Romo 2013. "Rendimiento de tres cultivares de pepino de invernadero." XVI Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas: 745-749.
- Ocegueda-Reyes, M. D., J. Casas-Solís, G. Virge-Calleros, D. R. González-Eguiarte, E. López-Alcocer y V. Olalde-Portugal 2019. "Isolation, identification and characterization of antagonistic rhizobacteria to *Sclerotium cepivorum*." Revista Mexicana de Fitopatología 38 (1): 146-159.
- Padilla-Bernal, L. E., A. Lara-Herrerab, E. Reyes-Rivas y J. R. González-Hernández 2015. "Assessing environmental management of tomato production under protected agriculture." International Food and Agribusiness Management Review 18 (3): 193-210.
- Parray , J. A., S. Jan, A. N. Kamili, R. A. Qadri, D. Egamberdieva y P. Ahmad 2015. "Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria." Journal of Plant Growth Regulation: 1-26.
- Pérez-Portuondo, I., L. Meriño-Reyes, C. A. Ábalos-Rodríguez y R. M. Pérez-Silval 2017. "Características promotoras de crecimiento vegetal en rizobacterias aisladas de suelos contaminados con compuestos fenólicos." Revista Cubana de Química 29 (1): 73-88.
- Prasad, R., M. Kumar y A. Varma 2015. "Role of PGPR in soil fertility and plant health. In: Egamberdieva D et al (eds) Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants, soil biology." Springer International Publishing Switzerland 12: 247-260.
- Pratt, L. y J. M. Ortega 2019. "Agricultura protegida en México: elaboración de la metodología para el primer bono de verde agrícola certificado." Banco Interamericano de Desarrollo 1-73.
- Pratt , L. y J. M. Ortega 2019. "Agricultura protegida en México " Banco Ineteramericano de Desarrollo: 9-12.
- Ramírez-Abarca, O., J. Hernández-Martínez y F. d. J. González-Razo 2021. "Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en guerrero y estado de méxico, 2020." Revista Mexicana de Agronegocios. 48: 1405-9282.
- Roussos, P. A., D. Gasparatos, K. Kechrologou, P. Katsenos y P. Bouchagier 2017. "Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions." Scientia Horticulturae 220: 11-19.
- Saharan, B. S. y V. Nehra 2011. "Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review." Life Sciences and Medicine Research. 2011: 1-30.

- Sánchez, Ó. J., D. A. Ospina y S. Montoya 2017. "Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process." *Waste Management* 30: 1-18.
- Sarabia-Ochoa, M., R. Madrigal-Pedraza, M. Martínez-Trujillo y Y. Carreón-Abud 2010. "Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: Su compleja red de interacciones." *Biológicas*. 12 (1): 65–71.
- Seminis 2018. "Producción y exportación del pepino cultivado en México." Disponible: <https://www.seminis.mx/produccion-y-exportacion-del-pepino-cultivado-en-mexico/#:~:text=De%20las%20817%20mil%20toneladas,mil%20se%20cultivaron%20en%20Sinaloa.&text=Debido%20a%20este%20nivel%20de,principales%20competidores%20Espa%C3%B1a%20y%20Holanda.>
- Sharma, I. P., S. Chandra, N. Kumar y D. Chandra 2017. "PGPR: Heart of soil and their role in soil fertility." *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture.*: 51-67.
- Shrivastava, S., R. Prasad y A. Varma 2014. "Anatomy of Root from Eyes of a Microbiologist." Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1: 3-22.
- SIAP 2019. "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola." Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SIAP 2021. "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola." Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Silva, M. G., E. A. Pozza, G. B. Vasco, A. S. Freitas, E. Chaves, P. V. A. A. Paula, G. A. Dornelas, M. C. Alves, M. L. O. Silva y A. A. A. Pozza 2019. "Geostatistical analysis of coffee leaf rust in irrigated crops and its relation to plant nutrition and soil fertility." *Phytoparasitica*. 47: 117–134.
- Singh, D. P., H. B. Singh y R. Prabha 2016. "Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity." Springer India. 2: Funcional Applications: 133-137.
- Singh, R. K., P. Singh, H.-B. Li, Q.-Q. Song, D.-J. Guo, M. K. Solanki, K. K. Verma, M. K. Malviya, X.-P. Song, P. Lakshmanan, L.-T. Yang y Y.-R. Li 2020. "Diversity of nitrogen-fixing rhizobacteria associated with sugarcane: a comprehensive study of plant-microbe interactions for growth enhancement in *Saccharum* spp." *BMC Plant Biology*. 20 1-21.
- Smith, G. S., C. M. Johnston y I. S. Cornforth 1983. "Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture." *New Phytol*. 94: 537-548.
- Soto, G. 2020. "El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0." *Revista de Ciencias Ambientales*. 54 (1): 215-226.
- Steiner, A. A. 1961. "A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition." *Plant and Soil*. 15 (2): 134-154.
- Steiner, A. A. 1984. "The universal nutrient solution." *Sexto Congreso Internacional de Cultura sin Suelo*: 633-650.
- Tjamos, E. C., S. E. Tjamos y P. P. Antoniou 2010. "Biological management of plant diseases: Highlights on research and application " *Journal of Plant Pathology* 92 (4): 17-21.
- Uzoh, I. y O. O. Babalola 2020. "Review on increasing iron availability in soil and its content in cowpea (*vigna unguiculata*) by plant growth promoting

- rhizobacteria." *Africa Journal Food Agriculture Nutrition Development*. 20 (3): 15779-15799
- Valdez-Torres, L. C., K. A. Granillo-Moreno, G. E. Dévora-Isiordia, R. Gonzalez-Enríquez y M. Arellano-Gil 2018. "Respuesta de pepino a diferentes tratamientos de fertilización orgánica y química en un suelo arcillo compactado bajo invernadero en el Valle del Yaqui." *Líneas de Investigación de Cuerpos Académicos*. Cap VII: 77-88.
- Westerman, P. W. y J. R. Bicudo 2005. "Management considerations for organic waste use in agriculture." *Bioresource Technology* 96: 215–221.
- Westover, K. M., K. A. C. y K. S. E. 1997. "Patterns of rizosphere microbial community structure associated with co-occurring plant species." *Journal of Ecology*. 85: 863-873.
- Willer, H. y J. Lernoud 2018. "The world of organic agriculture  
" Statistics & Emerging Trends Consultado  
[https://ciaorganico.net/documypublic/486\\_2020-organic-world-2019.pdf](https://ciaorganico.net/documypublic/486_2020-organic-world-2019.pdf).  
14-210.
- Yáñez-Juárez, M. G., J. F. León-de la Rocha, T. P. Godoy-Angulo, R. Gastélum-Luque, M. López-Meza, J. E. Cruz-Ortega y L. Cervantes-Díaz 2012. "Alternativas para el control de la cenicilla (*Oidium* sp.) en pepino (*Cucumis sativus* L.)." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (2): 259-270.
- Zaidi, A., E. Ahmad, M. S. Khan, S. Saif y A. Rizvi 2015. "Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective." *Scientia Horticulturae*. 193: 231-239.
- Zamilpa-Paredes, J., D. A. Ayala-Ortiz y R. Schwentesius-Rindermann 2015. "Desafíos y prioridades de la agricultura orgánica en México, mirando a la Unión Europea." *Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria*. México: 1-195.
- Zhong , H., Y.-N. Kim , C. Smith, B. Robinson y N. Dickinso 2017. "Seabird guano and phosphorus fractionation in a rhizosphere with earthworms." *Applied Soil Ecology*. 120: 197-205.
- Zhuang , X., J. Chen, H. Shim y Z. Bai 2007. "New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation." *Environment International* 33: 406–413.

## ANEXOS

**Cuadro A1.** Análisis de varianza para la variable sólidos solubles para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<b>Bloque</b>	4	0.0370	0.0093	0.4300	0.7854
<b>Tratamiento</b>	3	0.1735	0.0578	2.6800*	0.0941
<b>Error</b>	12	0.2590	0.0218		
<b>Total</b>	19	0.4695			

<0.05 es significativo\*, <0.01 es Altamente significativo\*\* y si es  $\geq 0.05$  No hay significancia NS.

**Cuadro A2.** Análisis de varianza para la variable diámetro del fruto para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<b>Bloque</b>	4	0.0353	0.0088	0.36	0.8356
<b>Tratamiento</b>	3	0.0589	0.0197	0.79	0.5226
<b>Error</b>	12	0.2988	0.0249		
<b>Total</b>	19	0.3931			

<0.05 es significativo\*, <0.01 es Altamente significativo\*\* y si es  $\geq 0.05$  No hay significancia NS.

**Cuadro A3.** Análisis de varianza para la variable longitud del fruto, para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<b>Bloque</b>	4	0.6827	0.1706	0.22	0.9219
<b>Tratamiento</b>	3	0.7961	0.2653	0.34	0.7951
<b>Error</b>	12	9.2659	0.7747		
<b>Total</b>	19	10.7747			

<0.05 es significativo\*, <0.01 es Altamente significativo\*\* y si es  $\geq 0.05$  No hay significancia NS.

**Cuadro A4.** Análisis de varianza para la variable peso del fruto, para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<b>Bloque</b>	4	8.8997	2.2241	1.37	0.3030
<b>Tratamiento</b>	3	2.6595	0.8865	0.54	0.6613
<b>Error</b>	12	19.5467	1.6289		
<b>Total</b>	19	31.1028			

<0.05 es significativo\*, <0.01 es Altamente significativo\*\* y si es  $\geq 0.05$  No hay significancia NS.

**Cuadro A5.** Análisis de varianza para la variable firmeza del fruto, para los cuatro tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2020.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
<b>Bloque</b>	4	0.4965	0.1241	1.03	0.4330
<b>Tratamiento</b>	3	0.0425	0.0142	0.12	0.9484
<b>Error</b>	12	1.4519	0.1210		
<b>Total</b>	19	1.9909			

<0.05 es significativo\*, <0.01 es Altamente significativo\*\* y si es  $\geq 0.05$  No hay significancia NS.