

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal y su rendimiento en biomasa y productividad en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

Emmanuel Aragón Barrios

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal y su rendimiento en biomasa y productividad en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:


Emmanuel Aragón Barrios

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:


Dr. Gerardo Zapata Sifuentes
Presidente


Dr. Pablo Preciado Rangel
Vocal


Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez
Vocal


Dr. Christian Silva Martínez
Vocal Suplente


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal y su rendimiento en biomasa y productividad en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

Emmanuel Aragón Barrios

TESIS

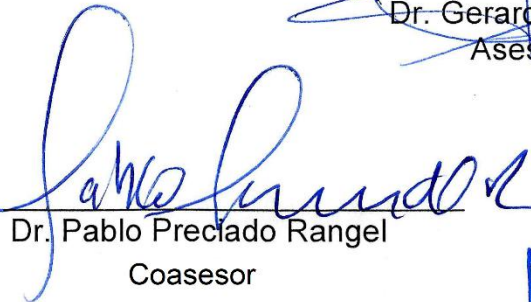
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Aprobada por:

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Gerardo Zapata Sifuentes
Asesor Principal


Dr. Pablo Preclado Rangel
Coasesor


Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida que me dio para llegar a lograr este sueño, por toda su bendición, sabiduría, amor, salud y por siempre estar a mi lado y acompañarme en mí proceso de formación.

A mi Asesor Principal de tesis el M.C. Gerardo Zapata Sifuentes, por el apoyo brindado en todo este proceso, por los consejos y la paciencia para realizar este trabajo de investigación, sin descartar a todos mis Co asesores que con su apoyo hicimos posible este proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL), por aceptarme y darme la oportunidad de pertenecer a esta institución de enorme calidad y poder realizar mis estudios de licenciatura.

A mis padres, Daniel Aragón Caballero y Concepción Barrios Reyes, por hacer posible este gran sueño, por todo su apoyo incondicional, por nunca dejarme solo y por haberme dado la vida.

A mis hermanos, Diana Bárbara Aragón Barrios y Daniel Aragón Barrios, por ser parte de mi familia y brindarme su apoyo incondicional.

A mis amigos, por su gran apoyo y amistad que me brindaron en todo este tiempo, y por los momentos convividos con ellos.

DEDICATORIAS

A Dios, por sus bendiciones, ya que sin él no sería posible cumplir mi sueño.

A mis padres, Daniel Aragón Caballero y Concepción Barrios Reyes, por su confianza y apoyo que me brindaron todo el tiempo, y especialmente porque los amo mucho.

A mis hermanos, Diana Bárbara Aragón Barrios y Daniel Aragón Barrios, a quienes aprecio y quiero mucho.

A mi novia, Yuliana Herrera Hernández, una persona a quien quiero y amo mucho, por estar cuando más la necesito y darme su apoyo incondicional en todo momento y por confiar en mí.

A mis abuelos, Lucina Reyes Carrillo, por sus bendiciones y cariño. También se va dedicada hasta el cielo, a mis abuelitos que no están presentes pero siempre estuvieron orgullosos de mí y quisieron viajar hasta mi universidad para verme graduar y titular.

ÍNDICE

Pág.

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE IMÁGENES	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1 INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal	3
2.2 Modo de acción.....	3
2.2.1 Mecanismos de crecimiento.....	4
2.3 Relación y/o interacción bacteria-planta	5
2.4 Uso de rizobacterias en cultivos hortícolas.....	5
2.5 Rizobacterias de estudio.....	6
2.6 El cultivo del pepino	6
2.6.1 Origen del pepino	7
2.7 Morfología	7
2.7.1 Raíz.....	7
2.7.2 Tallo	8
2.7.3 Hoja	8
2.7.4 Flor	8
2.7.5 Fruto.....	8
2.7.6 Semilla.....	8
2.8 Requerimientos del cultivo.....	9
2.8.1 Temperatura.....	9
2.8.2 Humedad relativa.....	9
2.8.3 pH	9
2.8.4 Salinidad	9
2.8.5 Iluminación.....	9

2.8.6	Suelo	10
2.9	Absorción y requerimientos nutricionales del pepino	10
2.10	Importancia del pepino	10
2.11	Producción de pepino en agricultura protegida	11
3	MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1	Ubicación del experimento y sustrato de trabajo	12
3.2	Variedad, siembra e inoculación del cultivo	12
3.3	Nutrición y labores agronómicas del cultivo	13
3.4	Diseño experimental	14
3.5	Variables evaluadas	15
3.5.1	Altura	15
3.5.2	Diámetro de tallo	15
3.5.3	Longitud de la raíz, número de raíces y biomasa	15
3.5.4	Diámetro y longitud del fruto	15
3.5.5	Rendimiento	16
3.5.6	Firmeza	16
4	RESULTADOS	17
4.1	Altura de planta	17
4.2	Diámetro del tallo	18
4.3	Longitud de raíz	19
4.4	Numero de raíces	20
4.5	Biomasa	21
4.6	Longitud de fruto	22
4.7	Diámetro del fruto	23
4.8	Rendimiento	24
4.9	Firmeza	25
5	DISCUSIÓN	26
6	CONCLUSIÓN	27
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Siembra establecida de forma directa colocando la semilla de pepino ya tratada con los inoculantes.....	13
Imagen 2. Entutorado de la planta de pepino	13
Imagen 3. Poda de hoja y zarcillos en el cultivo del pepino.....	14
Imagen 4. Orden de los tratamientos ya establecidos	14
Imagen 5. Fruto de pepino ya en condiciones para medición.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resultado en la altura de las plantas de pepino al inocular con RPCV.	17
Figura 2. Inoculación de RPCV en plantas de pepino y el efecto en el diámetro del tallo.....	18
Figura 3. Efecto sobre la longitud de raíz en el cultivo del pepino al inocular las plantas con RPCV	19
Figura 4. Incremento en el número de raíces en el cultivo del pepino al inocular con RPCV	20
Figura 5. Resultado de RPCV al ser inoculadas en el cultivo del pepino y su efecto sobre la biomasa	21
Figura 6. Efecto sobre la longitud del fruto de pepino al inocular con RPCV	22
Figura 7. Comportamiento del diámetro del fruto de pepino al inocular con RPCV	23
Figura 8. Efecto en el rendimiento de pepino resultado de inocular con RPCV ..	24
Figura 9. Inoculación al cultivo de pepino con RPCV para el efecto sobre la firmeza	25

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, el cultivo de pepino fue inoculado con tres rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) *Pseudomonas paralactis* (KBendo6p7), *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1) y *Sinorhizobium meliloti* (KBecto9p6) y un testigo sin inocular; la inoculación fue a una concentración de 1×10^8 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) con la finalidad de evaluar la capacidad de promover el crecimiento vegetal y la factibilidad de emplearlas en cultivos agrícolas. El experimento se condujo en un invernadero con condiciones controladas, el cultivo fue establecido en macetas de bolsas negras de poliuretano en un sustrato compuesto de arena + perlita + vermicomposta en proporciones 50:25:25; previamente esterilizado. El manejo agronómico correspondió al propio del cultivo y se fertilizó mediante sistema hidropónico complementando las necesidades nutricionales con la solución nutritiva Steiner. Las variables evaluadas fueron, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, número de raíces, biomasa de planta, longitud del fruto, diámetro del fruto, rendimiento y firmeza. El diseño experimental empleado fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, considerando dos plantas por repetición, al realizar los análisis de varianza y encontrar diferencia significativa se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados mostraron que la altura de planta incrementó 17.08%, el diámetro de tallo 12.9% al inocular con *P. paralactis* y *A. radioresistens*, la longitud de raíz incrementó 29.6% y el número de raíces secundarias 30.3% cuando se inocula con *P. paralactis*. Sin embargo, al inocular con *S. meliloti*, la biomasa incrementó 256% al inocular con *A. radioresistens* y *S. meliloti*. Por otro lado, al inocular con las RPCV, la longitud de fruto fue 126% mayor y el diámetro de fruto aumentó 118% con respecto al testigo, mientras que, el rendimiento se mejoró 137.7% con *A. radioresistens* y la firmeza de fruto se mejoró en 128.5% al utilizar *P. paralactis* y *A. radioresistens* como inoculantes. Las RPCV empleadas mostraron mejorar las condiciones del cultivo de pepino, por lo tanto se les puede considerar como una alternativa para eficientar la aplicación de fertilizantes en sistemas hidropónicos con sustratos que emplean vermicomposta.

Palabras clave: *Cucumis sativus* L, *P. paralactis*, *A. radioresistens*, *S. meliloti*, RPCV

1 INTRODUCCION

El pepino (*Cucumis sativus L.*) es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial y puede darse tanto a cielo abierto como en condiciones de agricultura protegida, las implementaciones agrícolas tienen que orientarse a una agricultura sostenible con la finalidad de potencializar la mejoría en los cultivos. La productividad de hortalizas, bajo inverdanero en México, se ha elevado significativamente y se ha registrado que 10% de la superficie corresponde a la producción de pepino (López-Elias et al., 2015).

Dentro de las prácticas de la agricultura convencional, la utilización de agroquímicos afecta tanto la salud como el medio ambiente, por lo cual el interés por vías alternas es una opción para minimizar este tipo de prácticas (Enríquez et al., 2010). Investigaciones se han enfocado para favorecer la producción agrícola, volcando una importancia para los microorganismos benéficos del suelo que procuran el desarrollo o prevén contagios por fitopatógenos (Moreno *et al.*, 2018). Por lo cual, se busca una opción alterna en la que se propone el acercamiento con fertilizantes biológicos compuestos de microorganismos rizosféricos y así sustituir completamente los fertilizantes inorgánicos (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2000).

Un punto importante para obtener una sostenible producción agrícola es el empleo de microorganismos benéficos del suelo, las cuales son rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV), que integran parte de la zona rizosférica o en raíces de plantas, forjando una reacción benéfica sobre el proceso de desarrollo de los cultivos. Las RPCV abarcan un porcentaje no mayor del 5% de bacterias en la zona rizosférica (Jha & Saraf, 2015). Dichas rizobacterias inducen el crecimiento vegetal por medio de fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno (Kumar & Verma, 2018), además de fijar el nitrógeno y solubilizar minerales (Basu *et al.*, 2021).

Dentro de los géneros más analizados de las RPCV se encuentran: Simbióticos (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Merzorrhizobium*) y no simbióticos (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Azomonas*) (Ma *et al.*, 2009; Wani *et al.*, 2010). La relación entre RPCV y las plantas ha trascendido a diferentes condiciones ambientales de los ecosistemas, es por ello que es importante conocer y ubicar las cepas que servirán en prácticas agrícolas sustentables como biofertilizantes (Vocciante, *et al.*, 2022). Las RPCV tienen la capacidad de transformar minerales del suelo en formas biodisponibles y así las plántulas tengan la capacidad de absorberlos fácilmente (Qin *et al.*, 2017).

Por tal motivo, esta investigación tiene como propósito efectuar la evaluación de tres rizobacterias sobre el desarrollo y rendimiento del pepino dentro de una estructura de agricultura protegida.

1.1 Objetivos

Objetivo General

Evaluar el proceso de la inoculación con RPCV sobre el desarrollo vegetativo y productividad del cultivo del pepino

Objetivos particulares

- Determinar la RPCV que mejore la respuesta vegetativa y productiva del pepino.

1.2 Hipótesis

El trabajo de usar las RPCV al combinarse con un sustrato de vermicomposta mejora la calidad y producción en el cultivo de pepino.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal

La utilización de agroquímicos y prácticas no adecuadas (Velasco *et al.*, 2001), ha provocado diferentes causas con respecto al deterioro ambiental (Dobbelaere *et al.*, 2003). Evitar este problema requiere tecnologías dedicadas a un rumbo de agricultura sostenible, lo que conlleva el uso de biofertilizantes (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007), una opción viable es utilizar rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Dobbelaere *et al.*, 2003).

Las RPCV tienden a conquistar raíces y potencializar el desarrollo de las plantas dando una forma directa, indirecta y sus variados modos de acción concretos donde se asemejan, para una relación benéfica (Camelo *et al.*, 2011). Algunas clases de bacterias se han catalogado como PGPR, dentro de las cuales están las siguientes: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Micrococcus*, *Rhizobium*, *Pantoea*, *Pseudomonas* y *Serratia* (Ahemad & Kibret, 2013; Bruto *et al.*, 2014; Saharan & Nehra, 2011). No solo ayudan al desarrollo de plantas, sino que a su vez se utilizan para evitar el contagio por patógenos, incrementa la condición del fruto y solubiliza fertilizantes (Kloepper *et al.*, 2004).

Se ha analizado que las RPCV contribuyen a las plantas cuando manifiestan un estrés provocado por la sequía, salinidad o cuando los nutrientes presentan concentraciones altas o bajas, por motivo a que incrementan el desarrollo radical, debido a la producción de fitohormonas como auxinas y citocininas, dando aspectos positivos en las plantas (Yang *et al.*, 2009).

Además, se ha descubierto que las rizobacterias pasan por alto problemas ocasionados por microorganismos fitopatógenos por medio de generar sideroforos, enzimas y compuestos fungicos (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

2.2 Modo de acción

Hay diferentes mecanismos disponibles por rizobacterias para progresar el proceso de vida de plantas en distintos ambientes. Por lo regular funcionan como fertilizantes biológicos, bioestimulantes y controladores biológicos (Nadeem, *et al.*, 2013; Tjamos *et al.*, 2010; Vessey, 2003). Además realizan trabajos de beneficio hacia las plantas mediante mecanismos directos, indirectos o en conjunto (Parray *et al.*, 2016).

2.2.1 Mecanismos de crecimiento

Los mecanismos directos suceden por el trabajo de las bacterias cuando sintetizan los metabolitos de las plantas, o también al aumentar la asimilación de distintos nutrientes, necesarios para su proceso metabólico y así favorecer el método de nutrición (Gómez-Luna *et al.*, 2012).

Gran parte de mecanismos directos resaltan: la síntesis de vitaminas y enzimas, facilitan la asimilación de fósforo (P) inorgánico, mineralizan el fosfato orgánico, la oxidación de sulfuros, producción de nitritos, reducir metales pesados y de la actividad de la enzimas ACC desaminasa, secreción de sideróforos y reducción de etileno en los suelos (Esquivel-Cote *et al.*, 2013; Pii *et al.*, 2015).

La generación del crecimiento vegetal por las rizobacterias se desglosa mediante el facilitamiento de solubilizar el fósforo y de generar reguladores de crecimiento, como por ejemplo las auxinas, giberelinas (GAs), citoquininas e inhibidores de etileno, por medio de las porciones metabólicas de las raíces y el ahorro de nitrógeno fijado (Khan, Zaidi, & Wani, 2007).

Prácticamente el modo de acción directo de las rizobacterias se simplifica en la producción de fitohormonas. Tales son algunos géneros de *Pseudomonas*, *Azotobacter* y *Bacillus* que disponen ácido indol-acético (AIA), giberelinas o citoquininas dentro de la zona rizosférica, forjando un efecto bioestimulante del desarrollo cuando se encuentran en plántula (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Por otro lado los modos indirectos se distinguen gracias a que las PGPR provocan la reducción de microorganismos fitopatógenos, desde la generación de moléculas antimicrobianas y enzimas líticas o bien la mezcla de éstas; provocando una ganancia de nutrimental, como también la activación natural en las defensas de la planta a través de modos biológicos; mediante una inducción de resistencia sistémica (IRS) para un gran número de organismos fitopatógenos y la creación de sideróforos como modo de adquirir la disposición de Fe en los suelos y disminuir la existencia de fitopatógenos; dando producción de antibióticos (Esquivel-Cote *et al.*, 2013; Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Los trabajos benéficos que generan las rizobacterias en plantas contienen demasiada importancia, aumentando niveles en la productividad y disminución de gastos evitando problemas a nuestro ecosistema (Rojas-Solís *et al.*, 2016). Diferentes rizobacterias tienden a proporcionar una herramienta importante en la descomposición de compuestos orgánicos (Saharan & Nehra, 2011).

Las rizobacterias cuidan de agentes fitopatógenos a las plantas, dado que con esto conllevan a una mejor opción ya que se genera un biocontrol y su implementación como una idea biotecnológica promete reducir los insumos adversos de

agroquímicos, y posibilitara una realidad más justa y sostenible del suelo (Antoun & Prévost, 2006).

2.3 Relación y/o interacción bacteria-planta

La interacción de planta-microorganismo suceden primordialmente en zonas de la planta como: filosfera, endosfera y rizosfera. La filosfera se liga en la parte aérea (tallo, hojas y flores) y la endosfera hace referir al proceso de transporte. En la rizosfera se encuentra nuestro trabajo, donde se establece cualquier parte del suelo relacionado con la asociación de las raíces y el producto generado por la planta (Hinsinger *et al.*, 2005), sin embargo, las relaciones entre los microorganismos son compactas y se pueden generar efectos sinérgicos que mejoren los beneficios para la planta o resulten efectos antagónicos o que no suceda ningún efecto (Cano, 2011).

Las colonias microbianas al contorno de la raíz contienen bacterias y hongos. La concentración bacteriana en los sustratos contienen cerca 10⁹ células por gramo de suelo (Torsvik & Ovreas, 2002).

Es intensa la actividad biológica y química requerida por los componentes exudados de la raíz, que contienen ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y metabolitos secundarios, etc. (Hinsinger *et al.*, 2005; Suckla *et al.*, 2011). La relación entre microorganismo y rizosfera suelen ser positivas, negativas o neutras y lo efectuado se distingue de las condiciones del suelo (Singh & Varaprasad, 2008).

Sin embargo algunas condiciones biológicas y físico-químicas de la rizosfera están a disponibilidad de los múltiples exudados generados en las raíces de las plantas; la estructura de estos exudados, están repercutidos por distintos factores: especies vegetales, etapa de desarrollo y la nutrición, tipo de suelo y condiciones del ambiente, por lo tanto es necesario seguir investigando sobre lo efectuado por las PGPR en distintas condiciones, sin embargo la colonia de microorganismos remitirá de un cultivo a otro (Grageda *et al.*, 2012).

2.4 Uso de rizobacterias en cultivos hortícolas

La utilización de las RPCV como fertilizantes biológicos, da una alternativa más para incrementar la disposición de los nutrimentos, el desarrollo y rendimientos en las plantas (Zahid *et al.*, 2015), utilizar biofertilizantes a base de RPCV en distintas plantas, suelen optar una buena opción biológica para el desarrollo de cultivos agrícolas minimizando la utilización de fertilizantes inorgánicos y químicos que afectan al entorno ambiental (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010; Luna-Martínez *et al.*, 2013; Sánchez-López *et al.*, 2012).

Las RPCV, son capaces de transformar los nutrientes minerales del suelo y ponerlos disponibles para que fácilmente puedan ser asimilados por las plantas (Qin *et al.*, 2017).

Se presentan distintas investigaciones actualmente sobre las RPCV como agentes benéficos del crecimiento de las plantas con relación a modos directos por motivo de producir sustancias que regulan el crecimiento (Zahir *et al.*, 2004), o también por modos indirectos por medio de un biocontrol de fitopatógenos (Van-Loon & Bakker, 2003; Whipps, 2001).

2.5 Rizobacterias de estudio

El género de las *Pseudomonas* son de las más estudiadas dentro de las RPCV, donde se ha informado que en los cultivos hortícolas la bacteria *Pseudomona paralactis* sp., se distingue por su capacidad relacionada con la solubilización de fosfatos y producción de ácido indolacético (Mihalache, *et al.*, 2016). Se lograron identificar cepas de *Pseudomonas* spp que tienen un alto porcentaje de quitina despolimerizante y antifúngica, para inhibir hongos; estas cepas disminuyeron de manera resaltable la incidencia de marchitez y una mejoría la germinación de las plántulas y la biomasa vegetal (Ajinath *et al.*, 2020).

El análisis de *A. radioresistens* pudo dar a conocer las rutas metabólicas involucradas en la relación del crecimiento vegetal y la capacidad de solubilizar fósforo y producir sideróforos (Lafi, *et al.*, 2017).

Al inocular cepas de *Sinorhizobium meliloti* se han encontrado beneficios relacionados a la secreción de fitohormonas del crecimiento vegetal, fijar el nitrógeno y solubilizar el fósforo y potasio (Galleguillos, *et al.*, 2000, Saidi, *et al.*, 2021). Así como su bioestimulación en el crecimiento vegetal.

2.6 El cultivo del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) se considera una hortaliza de masiva demanda mundial. Dentro del país de México es un cultivo indispensable por la opción redituable generada por su producción y su consumo (Yáñez-Juárez *et al.*, 2012). Resalta en una importante demanda dentro del mercado nacional e internacional, implementando la producción de este cultivo en condiciones de agricultura protegida (invernadero) en varios estados de la república mexicana (Avendaño-Ruiz & Schwentesius-Rindermann, 2005).

Constituye su formación de 95 % agua y un limitado valor calórico, que no superando las 20 calorías por cada 100 gramos, lo que lleva a ser muy ligeros e importantes contra la obesidad (Martínez-Frías, 2012).

El pepino pertenece a la familia Cucurbitaceae, donde abarcan un mayor de 800 especies dispersas dentro de las regiones tropicales (Boualem *et al.*, 2014). Son plantas que pueden ser trepadoras o rastreras, generan frutos grandes y característicos de una corteza firme (Martínez-Frías, 2012). Es una hortaliza con un valor importante por su periodo corto de producción y por que se adapta al modo de siembra, ya que puede desarrollarse en temporada invernal. Literalmente se adapta a cualquier temporada de siembra, su tiempo más eficaz es durante la primavera (Seminis, 2018).

El tiempo que dura el ciclo de producción en agricultura protegida es de 108 días en invierno, por lo cual posibilita dos ciclos de producción al año alargando el beneficio de producción (López-Elias *et al.*, 2015).

2.6.1 Origen del pepino

El origen del pepino de la especie *Cucumis sativus* L. lo presenta en las regiones tropicales de Asia (Sur de Asia), cultivado desde de 3000 años antes en la india y fue inducido a Europa y después introducirlo a América a mediados del siglo XVI por Cristóbal Colón. En el año 1872 surgió el primer híbrido (Barraza, 2012).

2.7 Morfología

2.7.1 Raíz

Se caracteriza de una raíz principal fuerte que se despliega muy rápido ya que genera raíces secundarias y un exceso de largos pelos absorbentes de color blanco, llegando a tener medidas de 1 - 1.2 metros y también facilitando la generación de raíces adventicias por encima tallo basal (Zamudio & Félix, 2014).

2.7.2 Tallo

El tallo presenta características flexibles, cubierta de pelillos con crecimiento indeterminado y secciones angulares, generando un desarrollo rastrero y trepador. (Zamudio & Félix, 2014).

2.7.3 Hoja

Tienden a ser simples, de forma acorazonada, salteadas y en contra de los zarcillos, presenta bordes ligeramente dentados, de tono verde oscuro con una peculiaridad de una vellosidad fina acompañada de nervios muy resaltados por el envés y de epidermis con cutícula delgada (Barraza, 2015).

2.7.4 Flor

Posee tonos amarillos en sus pétalos con un pequeño pedúnculo, comúnmente las flores se generan en parte de las axilas de la hoja y pueden ser hermafroditas o unisexuales, donde parte importante de la producción depende del gran porcentaje de flores femeninas, ya que estas se convertirán en frutos (Barraza-Álvarez, 2015).

2.7.5 Fruto

Presenta una forma cilíndrica alargada, de apreciación circular, donde el peso y tamaño es muy variable, presentando un color verde oscuro y generando pulpa algo acuosa de un tono blanquecino, donde internamente tiene semillas uniformes dispersas a lo largo del fruto. (Zamudio & Félix, 2014).

2.7.6 Semilla

Las semillas forman una estructura plana y ovaladas, tienden a tener una largura entre 8 a 10mm con un grosor de 3.5 mm según sea la variedad y presentan una tonalidad blanco amarillento, dando unidades en cantidad variable Zamudio & Félix, 2014).

2.8 Requerimientos del cultivo

2.8.1 Temperatura

Para esta hortaliza se torna un clima templado-cálido y requiriendo temperaturas que abarquen los 20 a 25 °C y exigiendo condiciones nocturnas optimas ya que debajo de 12 °C provocan una afectación en el proceso de desarrollo del cultivo (López *et al.*, 2011).

2.8.2 Humedad relativa

El pepino requiere de una humedad relativa eficaz, donde por el día ocupa de 60-70 % y en la noche de 70-90 % (Barraza, 2012). Este parámetro resalta en un factor primordial que apoya la estabilidad del agua en la planta (Calvo-Polanco *et al.*, 2017).

2.8.3 pH

El pepino se acopla a un pH de 5.5 a 6.8 pudiendo soportar un pH hasta de 7.5 (López *et al.*, 2011).

2.8.4 Salinidad

El pepino tiende a tolerar difícilmente la salinidad por lo que si presenta exceso de sales tendrá problemas para asimilar nutrientes y agua de riego, causando un desarrollo lento, debilitando parte del tallo y formara hojas más cortas de tono oscuro y frutos torcidos (Galindo *et al.*, 2014).

2.8.5 Iluminación

Presenta una estricta demanda de luminosidad, ya que la producción aumenta cuando la cantidad de radiación es mayor y a pesar de las condiciones crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días escasos con menos de 12 horas de luz (López *et al.*, 2011).

2.8.6 Suelo

Presenta la facilidad de poderse cultivar en una gran cantidad de tipos de suelos fértiles ya sea en suelos altos en materia orgánica (francos) que son los correctos para su producción hasta suelos de tipo arenoso. Es indispensable tener buena cobertura de profundidad ya que optimizara la porosidad, aireación, retención de humedad y desarrollo radicular para mejorar los rendimientos (Martínez, 2015).

2.9 Absorción y requerimientos nutricionales del pepino

Introducir nutrición a las plantas puede ser una técnica muy compacta, ya que todo nutriente está relacionado con demás nutrientes (Barraza, 2012). En agricultura protegida el desarrollo del pepino genera un crecimiento más rápido, es por ello que limitar agua o nutrientes puede generar desventajas en la producción, entonces será de suma importancia calibrar las fertilizaciones optimas a la hora de aplicar nutrición, permitiendo que sea lo más eficiente para un buen desarrollo en su ciclo productivo (Sánchez *et al.*, 2014).

El fosforo es muy importante en varias etapas fenológicas ya que se ve reflejada sobre la estimulación de nuevas de raíces y el tamaño de las flores. Una porción mínima de N, afectaría el la forma y tamaño de los frutos, por otro lado, un aumento en la porción de N provocaría un fruto amargo. El calcio favorece en la calidad y da activación de las defensas del cultivo hacia las enfermedades. La función de los microelementos efectúan de manera positiva en la calidad, color y resistencia de la planta, primordialmente el hierro y manganeso (Sánchez *et al.*, 2014).

2.10 Importancia del pepino

Generalmente el pepino se ha catalogado dentro del mercado nacional e internacional con una alta demanda (Avendaño & Schwentesius, 2004). En México presenta en promedio un valor de producción de 1331.6 millones de pesos, siendo así uno de los cultivos más rentables (Mohammadi & Omid, 2010).

Esta hortaliza funciona en gran cantidad para la elaboración de ensaladas y es considerada un vegetal de poco valor energético, ya que contienen fibras y vitaminas C, A, y tiamina (Cortes *et al.*, 2011).

2.11 Producción de pepino en agricultura protegida

Implementar un método de producción hortícola mediante agricultura protegida, incrementa la rentabilidad de la producción; por lo que genera ambitos de trabajo, minimiza la contaminación y los daños a la salud (Grijalva y Robles, 2003).

La producción en agricultura protegida consiste en un sistema que se realiza bajo cubierta variando las estructuras, protegiendo los cultivos y así minimizar probemas que ocasionan los cambios climáticos. (Moreno, *et al.*, 2011). Bajo cubierta, el pepino puede producir mayor cantidad de veces que en campo abierto, donde el manejo, condiciones climatológicas y la tecnología serán factores importantes para su producción (López *et al.*, 2011).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento y sustrato de trabajo

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), dentro del invernadero en el departamento de horticultura. La universidad se ubica en carretera Santa Fe km 4, Torreón, Coahuila, México. El clima de esta región es semidesértico y es por ello que se utilizó un invernadero semicircular controlando la temperatura a 25°C y la humedad relativa a 60% en promedio. Para la integración del sustrato en macetas, se ocuparon bolsas de polietileno negro con una cobertura de 10 litros. La mezcla de arena, perlita y vermicomposta dio lugar al sustrato que se utilizó para la siembra en proporción de 50:25:25, donde fue sanitizado por lavado y solarización por un rango de siete días. Una vez seco, se llenaron las bolsas plásticas y se ubicaron a doble hilera con distancia de 30 cm entre hileras y una separación de 20 cm entre maceta. Cada maceta fue etiquetada con la debida bacteria que se estableció.

3.2 Variedad, siembra e inoculación del cultivo

Las semillas de pepino que se utilizaron fueron de la variedad Poinsett 76, donde primordialmente fueron lavadas y desinfectadas utilizando hipoclorito de sodio al 5% por una hora. Al haberse cumplido el tiempo determinado se prosiguió a inocular las semillas por inmersión durante un lapso de 24 horas en un vaso de precipitado donde se depositaron 50 mL de cada cepa correspondiente a *Pseudomonas paralactis* (KBendo6p7), *Sinorhizobium meliloti* (KBecto9p6) y *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1). Dichas cepas fueron donadas por el laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).

La inoculación de las bacterias se realizó en el laboratorio de Agroecología, donde se utilizó una concentración de los inóculos ajustada de 1×10^8 UFC mL⁻¹ en PBS al 0.5%, para posteriormente ser sembradas directamente en las macetas ya preparadas.



Imagen 1. Siembra establecida de forma directa colocando la semilla de pepino ya tratada con los inoculantes

3.3 Nutrición y labores agronómicas del cultivo

La nutrición fue de vital importancia dentro de este trabajo para el desarrollo del pepino, es por ello que satisfacer la necesidad nutrimental de la planta se tomó muy en cuenta el aporte nutrimental de la vermicomposta y la solución nutritiva Steiner al 100%, con un lapso de duración de 150 días después de la siembra (dds) que duró el experimento; donde la técnica de aplicación fue a través del riego, el cual fue calculado con base a las necesidades de la evapotranspiración diaria y fenología de la planta.

Dentro de la cuestión laboral se realizaron prácticas de tutorado, podas y control de plagas y enfermedades al cabo de garantizar un bienestar para las plantas y un mejor desarrollo con un buen trato hacia ellas. Otra de las actividades importantes fue que se realizó una re-inoculación de las cepas a los 55 dds con 15 mL de cada rizobacteria con una concentración de inoculación de 1×10^8 UFC mL⁻¹ y fue aplicado a la base del tallo de la planta.



Imagen 2. Entutorado de la planta de pepino



Imagen 3. Poda de hoja y zarcillos en el cultivo del pepino

3.4 Diseño experimental

El método experimental empleado fue bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, con dos plantas por tratamiento. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó con el software SAS 9.4 y al encontrar diferencia significativa se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).



Imagen 4. Orden de los tratamientos ya establecidos

3.5 Variables evaluadas

Los parámetros morfológicos de la planta a evaluar fueron los siguientes:

3.5.1 Altura

Se realizó al paso de 60 dds y su medición fue mediante ayuda de un flexómetro (Truper) de 5 metros, registrando la unidad de altura (cm) y se procedió a medir desde la base del tallo hasta el ápice del tallo principal.

3.5.2 Diámetro de tallo

La medición de esta variable se tomó a un tercio de lo que media la planta, considerando el tallo basal, para esto se requirió un vernier (H-7352, Uline) midiendo en unidades de mm. La medición se realizó a los 60 dds.

3.5.3 Longitud de la raíz, número de raíces y biomasa

A los 150 dds se midió la variable de longitud de la raíz (cm), donde se comenzó a medir desde el cuello basal hasta el meristemo de la raíz (ápice radicular) utilizando un flexómetro y así mismo se cuantificaron las raíces que están en las formaciones bien definidas que fueron emergiendo de la radícula embrionaria.

Para la evaluación de la biomasa se tomaron tres plantas por tratamiento para luego ser separados en bolsas de papel. Enseguida, se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de 70°C por un tiempo de 72 h, y así ser pesados en una balanza digital (VE-CB2000, VELAB) y obtener la biomasa seca (g).

Los parámetros morfológicos del fruto que se evaluaron fueron los siguientes:

3.5.4 Diámetro y longitud del fruto

Las mediciones se realizaron mediante una cosecha de tres plantas por tratamiento a los 130 dds promediando los valores de los frutos obtenidos. Para determinar la longitud de fruto (cm) se empleó un flexómetro, tomando como punto de inicio la base hacia el ápice del fruto del pepino. El diámetro se obtuvo con ayuda de un

vernier digital (H-7352, Uline), y esta variable se midió (en mm) en la parte media de los frutos.



Imagen 5. Fruto de pepino ya en condiciones para medición

3.5.5 Rendimiento

Para determinar esta variable se cosecharon tres plantas por tratamiento a los 130 dds promediando los valores de los frutos obtenidos. Se registró el peso de los frutos donde se utilizó una balanza digital (VE-CB2000, VELAB) y posteriormente se expresó en Kg planta^{-1} la suma total.

3.5.6 Firmeza

Esta variable se determinó mediante un penetrómetro con émbolo de 8 mm (FHT200, instrumentos Extech), donde los frutos se colocaron sobre una superficie dura y fija, se tomaron tres medidas por fruto y se registró el promedio para cada repetición y tratamiento.

4 RESULTADOS

4.1 Altura de planta

El efecto de las rizobacterias sobre la altura de las plantas de pepino al inocular con las RPCV consideradas en el experimento, presentó diferencia estadística con respecto al control, las cepas de *P. paralaectis* (KBendo6p7) y *A. radioresistens* (KBendo3p1) son similares estadísticamente, destacando del control con un 17.08 % y 14.60 % respectivamente (Figura 1).

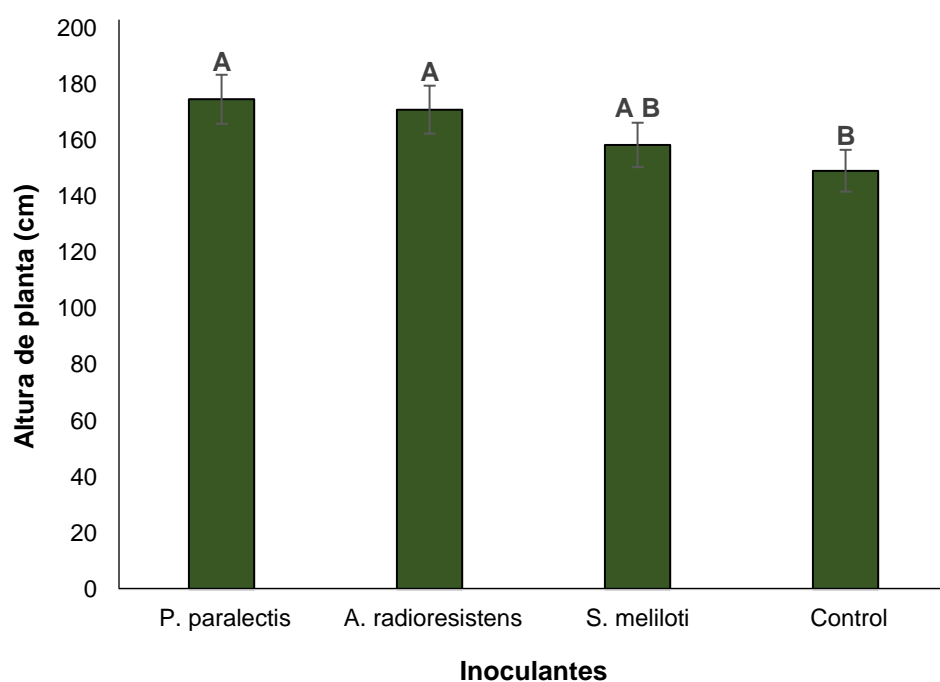


Figura 1. Resultado en la altura de las plantas de pepino al inocular con RPCV.

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.2 Diámetro del tallo

La Figura 2 muestra el uso de las rizobacterias sobre las plantas de pepino para un mejor efecto en el diámetro del tallo. Al inocular las plantas de pepino con las RPCV se encontró diferencia estadística con respecto al control en las cuales *P. paralactis* (KBendo6p7), *A. radioreisistens* (KBendo3p1) presentan un incremento estadísticamente similar, más sin embargo la cepa de *P. paralactis* (KBendo6p7) proporciona un aumento de 12.90 %.

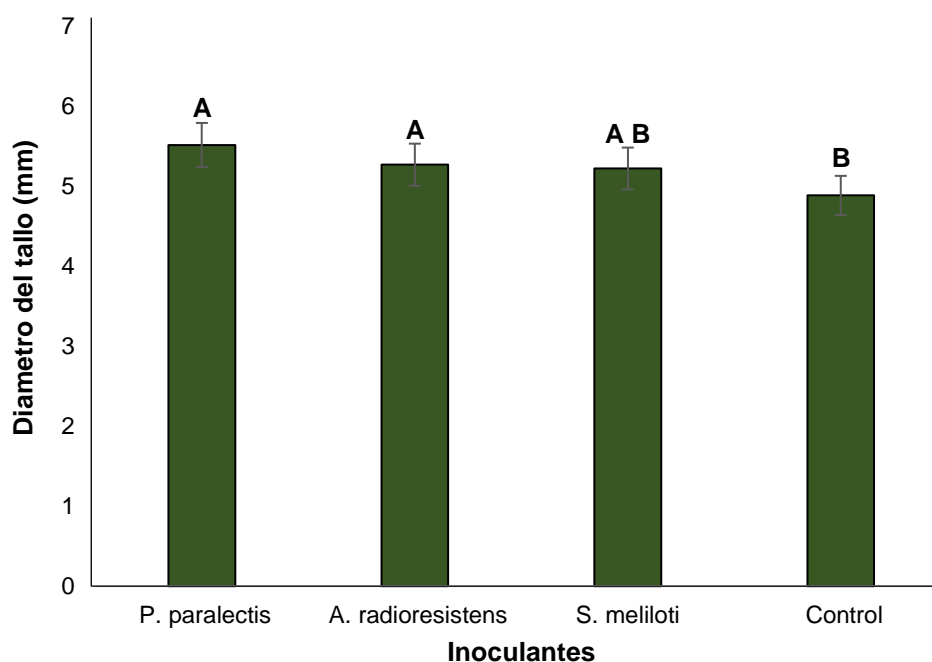


Figura 2. Inoculación de RPCV en plantas de pepino y el efecto en el diámetro del tallo

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.3 Longitud de raíz

Considerando del experimento la inoculación de RPCV en plantas de pepino, la Figura 3 presenta el efecto generado en la raíz, donde se encontró diferencia estadística al inocular la cepa de *P. parvialactis* (KBendo6p7) con respecto al control propiciando un incremento de 29.61%.

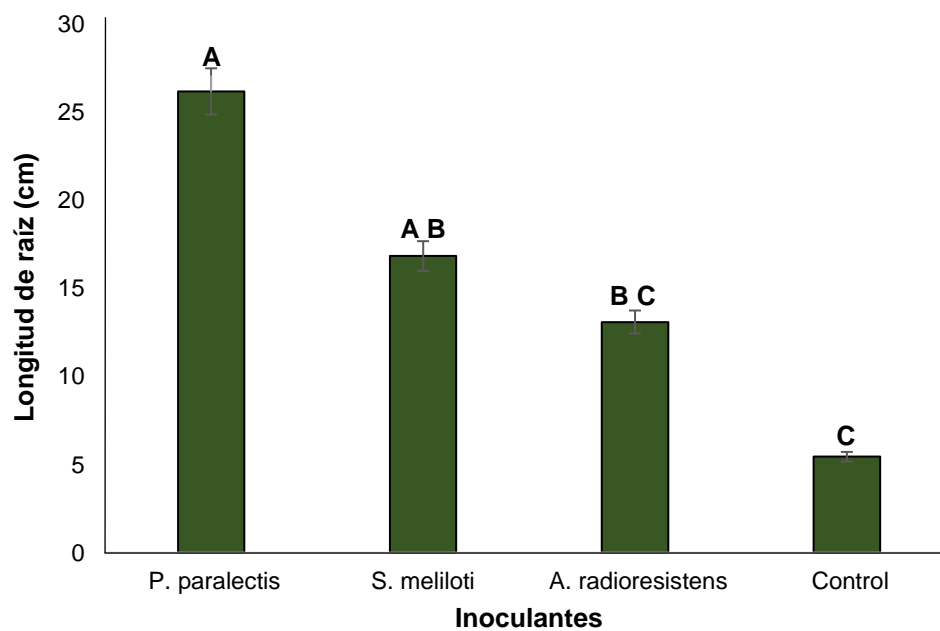


Figura 3. Efecto sobre la longitud de raíz en el cultivo del pepino al inocular las plantas con RPCV

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.4 Numero de raíces

Al inocular las plantas de pepino con RPCV se presenta diferencia estadística con respecto al control. La Figura 4 muestra el efecto resultante sobre la raíz del cultivo de pepino, donde la cepa de *P. parviflorus* (KBendo6p7) genera un incremento mayor a los demás tratamientos de 30.33 %.

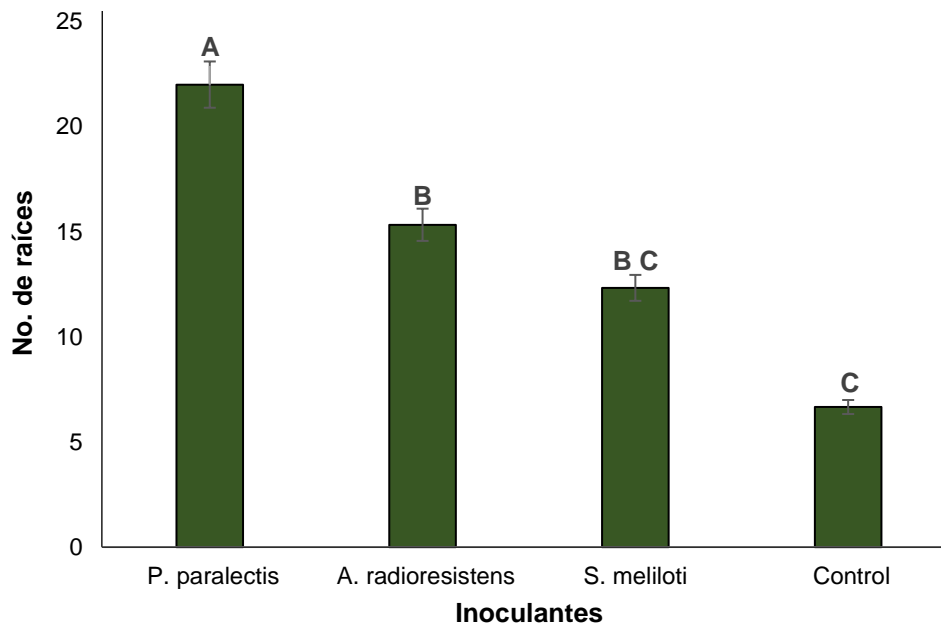


Figura 4. Incremento en el número de raíces en el cultivo del pepino al inocular con RPCV

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.5 Biomasa

La media de los tratamientos con respecto a la biomasa, donde al utilizar las RPCV como inoculantes se encontró diferencia estadística (Figura 5). De las cuales *A. radioresistens* (KBendo3p1) y *S. meliloti* (KBecto9p6) presentan un incremento estadísticamente similar pero mayor al control de 269.68% y 253.31% respectivamente.

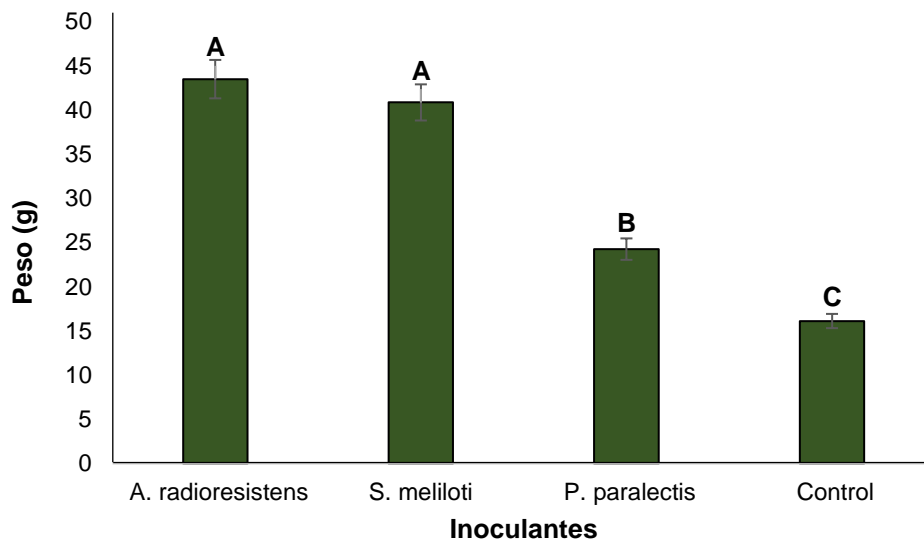


Figura 5. Resultado de RPCV al ser inoculadas en el cultivo del pepino y su efecto sobre la biomasa

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.6 Longitud de fruto

Se puede observar (Figura 6) que al inocular con RPCV se presenta una diferencia estadística respecto al control en la longitud del fruto. Donde las cepas *Pseudomonas paraelctis* (KBendo6p7), *Sinorhizobium meliloti* (KBecto9p6) y *Acinetobacter radioresistens* (KBendo3p1), obtuvieron incrementos estadísticos similares, sin embargo dos de las cepas (*S. meliloti* y *A. radioresistens*) destacan mayormente con porcentajes de 129.61 % y 127.77 % respectivamente.

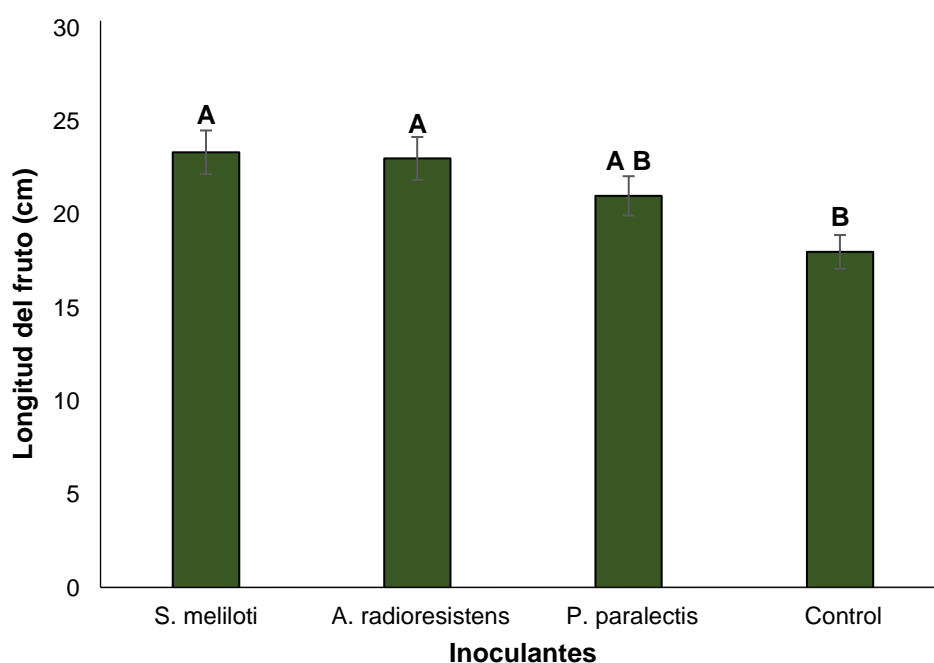


Figura 6. Efecto sobre la longitud del fruto de pepino al inocular con RPCV

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.7 Diámetro del fruto

En la Figura 7 se observa que al inocular con RPCV se presenta diferencia estadística con respecto al diámetro del fruto, en donde las cepas de *A. radioresistens* (KBendo3p1), *S. meliloti* (KBecto9p6) y *P. paralectis* (KBendo6p7), estadísticamente son similares pero mayor al control con porcentajes de 122.7%, 118.24% y 112.96%, respectivamente.

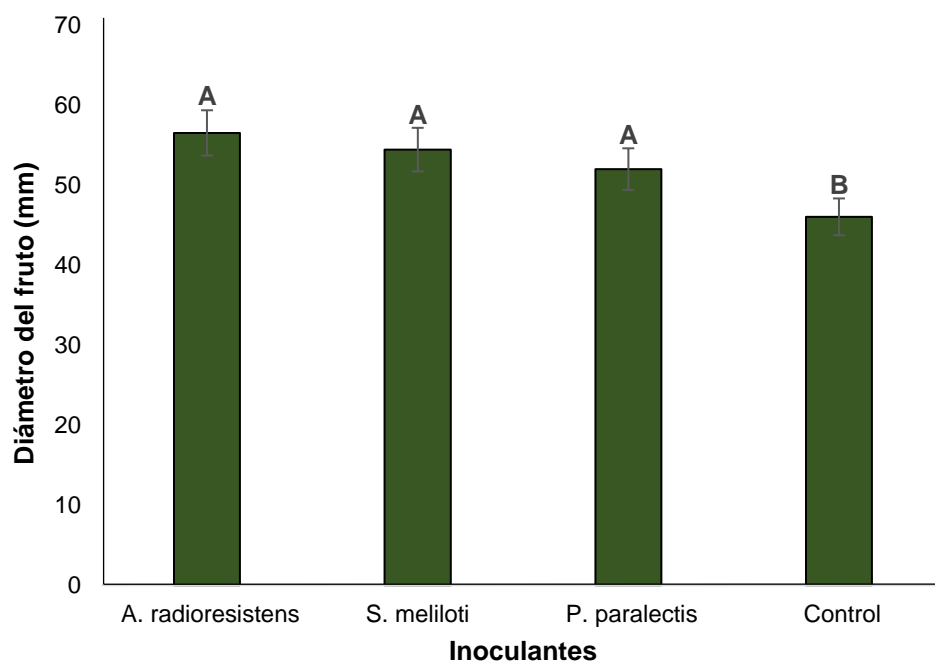


Figura 7. Comportamiento del diámetro del fruto de pepino al inocular con RPCV

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.8 Rendimiento

Al inocular las plantas de pepino con las RPCV consideradas en el experimento, se encontró diferencia estadística con respecto al rendimiento (Figura 8), sin embargo, la cepa de *A. radioresistens* (KBendo3p1), estadísticamente es mayor al control con un incremento de 137.78 %.

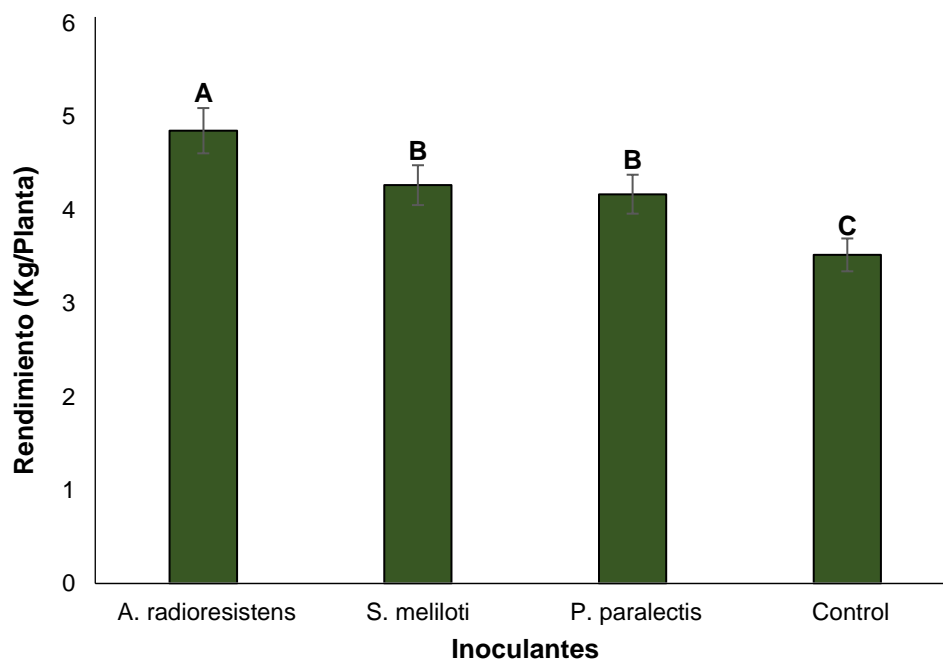


Figura 8. Efecto en el rendimiento de pepino resultado de inocular con RPCV

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

4.9 Firmeza

Al utilizar RPCV como inoculantes en plantas de pepino se presenta diferencia estadística incrementando la firmeza en 128% con *P. paractis* (KBendo6p7) y *A. radioresistens* (KBendo3p1) con respecto al control.

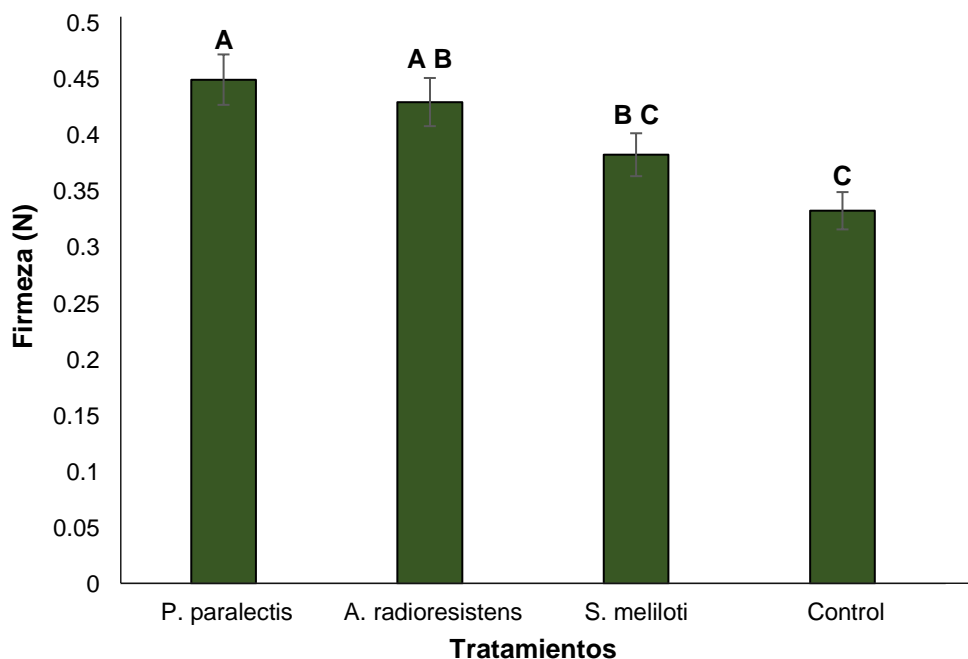


Figura 9. Inoculación al cultivo de pepino con RPCV para el efecto sobre la firmeza

*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa en comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$)

5 DISCUSIÓN

Los resultados de inocular RPCV en plantas de pepino (*C. sativus*) mejoró el proceso vegetativo y productivo del pepino al tener como sustrato vermicomposta, obteniendo incrementos destacables en la longitud de raíz y mayor número de raíces secundarias, por lo que se puede explicar el desarrollo y altura de planta, lo cual puede estar estrechamente relacionado con el incremento en el diámetro del tallo, biomasa y productividad del cultivo. Lo anterior puede explicarse ante las evidencias sobre el crecimiento de las plantas tratadas con RPCV, ya que se ha observado que la presencia de ácido indol-3-acético (AIA) que secretan las RPCV favorecen a la división y alargamiento celular, además, también se presenta un efecto en la aparición y desarrollo de raíces laterales y las divisiones del meristema apical (Rojas *et al.*, 2010).

En estudios similares utilizaron plantas de pepino (*C. sativus*) para inocular RPCV, presentando un incremento benéfico en la aparición de raíces secundarias y la longitud de la raíz (Li *et al.*, 2020) al emplear vermicomposta; ya que, se ha demostrado que contiene nutrimentos esenciales para un buen desarrollo de las plantas y favorece las propiedades agronómicas del suelo, que a su vez aumenta la disponibilidad y asimilación de nutrientes por las raíces (Domínguez *et al.*, 2010; Fritz *et al.*, 2012), esto pudiera estar relacionado con el incremento de la altura de planta, diámetro del tallo y biomasa.

Las respuestas observadas sobre el desarrollo del cultivo de pepino pueden atribuirse a que la vermicomposta, las RPCV y la fuente de fertilización empleada actúan en conjunto en las diferentes etapas fenológicas (Ayala-Tafoya *et al.*, 2020). Estos hallazgos constituyen una alternativa de producción agrícola que regula el uso de fertilizantes químicos, emplea recursos locales e incrementa la capacidad productiva del cultivo de pepino; promoviendo de esta manera prácticas que acerquen a la promoción de una agricultura sostenible (Calero Hurtado *et al.*, 2019).

6 CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso de las RPCV como inoculantes en conjunto con vermicomposta en el sustrato, mejoraron el desarrollo de las plantas de pepino, morfología de fruto y rendimiento bajo condiciones de invernadero, la cepa de *P. paralactis* presentó la mejor respuesta como inoculante al incrementar el valor de las variables en la morfología de planta y fruto, así como la productividad.

Si bien se ha evidenciado que la utilización de RPCV pueden ser una alternativa para mejorar las condiciones del cultivo de pepino, es necesario realizar otros ensayos que permitan evaluar la eficiencia sobre la asimilación de nutrientes, mejora sobre la calidad de fruto, entre otros, antes de ser empleados por los agricultores locales; de modo que, se puedan establecer mejores prácticas agrícolas para lograr un sistema productivo sostenible.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahemad, M., & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>

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.

Antoun H, & Presvost D. (2006). *Ecology of Plant growth promoting rhizobacteria*. In PGPR: biocontrol and biofertilization. Springer. Netherlands. pp 1-38.

Armenta-Bojórquez, A. D., García Gutiérrez, C., Camacho Báez, J. R., Apodaca Sánchez, M. Á., Gerardo Montoya, L., & Nava Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51–56. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.07.aa>

Avendaño-Ruiz, B., & Schwentesius-Rindermann, R. (2005). Factores de competitividad en la producción y exportación de hortalizas: El caso del Valle de Mexicali, B.C., México. *Revista Latinoamericana de Economía*, 36(140), 165–192.

Ayala-Tafoya, F., G. A. López-Urquídez, J. M. Parra-Delgado, J. E. Retes-Manjarrez, C. A. López-Orona, and M. G. Yáñez-Juárez. 2020. 'Vermicompost, synthetic auxins, and greenhouse production of gray squash *Cucurbita pepo* L.', *Terra Latinoamericana*, 38: 257-65.

Barraza, A. F. V. (2012). Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas agrarios*. Vol. 17 n°2, 18–29 Pág.

Barraza-Álvarez, F. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 60-71.

Barreto-Figueiredo, M., A. Bonifacio, A. Cerqueira-Rodríguez y F. De Araujo. 2016. Plant growth-promoting rizobacteria: Key mecanismos of action. In: Choudhary y Varma (eds.). *Microbial Mediated Induced Systemic Resistance in Plants*. Springer Science, Singapore. pp. 23-37.

Basu, A., P. Prasad, S. N. Das, S. Kalam, R. Z. Sayyed, M. S. Reddy, and H. El Enshasy. 2021. 'Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects', *Sustainability*, 13: 1140.

Boualem, A., Fleurier, S., Troadec, C., Audigier, P., Kumar, A. P. K., Chatterjee, M., ... Bendahmane, A. (2014). Development of a *Cucumis sativus* TILLinG platform for

forward and reverse genetics. *PLoS ONE*, 9(5), 3–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097963>

Bruto, M., Prigent-Combaret, C., Muller, D., & Moëgne-Loccoz, Y. (2014). Analysis of genes contributing to plant-beneficial functions in plant growth-promoting rhizobacteria and related Proteobacteria. *Scientific Reports*, 4, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep06261>

Calero Hurtado, A., E. Quintero Rodríguez, Y. Pérez Díaz, Y. González-Pardo Hurtado, and T.N. González Lorenzo. 2019. 'Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino', Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. X, 22.

Camelo, R. M., Vera, M. S. P., & Bonilla, B. R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12(2), 159-166.

CANO, M. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 14(2): 15-31.

Cortes, M., Johan, M.Y., & Rodríguez, E. (2011). Valoración de atributos de calidad en pepino (*Cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. 9: 24-34 Pág.

Dobbelaere, S., J. Vanderleyden and Y. Okon. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Plant Sciences* 22:107-149.

Domínguez, J., C. Lazcano y M. Gómez-Brandón. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoo. Mex.* 26 (Número Especial 2): 359-371.

Enríquez, M.; Suquilanda, M.; & Tulcan, M.L. (2010). Respuesta del pepinillo (*Cucumis sativus* L.) a tres métodos de desinfección de suelo. Tumbaco, Pichincha. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, pp. 1-9.

Espinoza-Robles, P, Colinas-León, M. T, Rodríguez-Pérez, J. Sahagún-Castellanos, J, Hernández-González, Z. (2014). Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 37 núm. (1).

Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R. & Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 251-258.

Fritz, J. I., I. H. Franke-Whittle, S. Haindl, H. Insam, and R. Braun. 2012. Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Can. J. Microbiol.* 58: 836-847. doi: <https://doi.org/10.1139/w2012-061>

Galleguillos, C., Aguirre, C., Barea, J. M., & Azcón, R. (2000). Growth promoting effect of two *Sinorhizobium meliloti* strains (a wild type and its genetically modified derivative) on a non-legume plant species in specific interaction with two arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Science*, 159(1), 57-63.

Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. Á., & Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), p. 1219- 1232.

Gómez-Luna, B. E., Hernández-Morales, A., Herrera-Méndez, C. H., Arroyo-Figueroa, G., Vargas-Rodríguez, L., & Olalde-Portugal, V. (2012). Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*Psidium guajava*). *Ra Ximhai*, 8(3), 97–102.

Grageda, O., Díaz, A., Peña, J., & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261–1274.

Grijalva, R.L.; Robles, F. 2003 Avances en la producción de hortalizas en invernaderos. Publicación Técnica No. 7. INIFAP-CIRNO-CECAB. Caborca, Sonora. México. 14-18.

Hinsinger P, Gobran G R, Gregory P J, & Wenzel W W. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytol.* (2005) 168: 293-303.

Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1), 29-43. doi: 10.1051/agro:2006011

Kloepper, J. W., Reddy, M. S., Kenney, D. S., Vavrina, C. S., Kokalis-Burelle, N., Rodríguez-Kabana, R., & Martínez-Ochoa, N. (2004). Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. *Acta Horticulturae*, (Vol. 631, pp. 217-229). *Acta Hortic.*

Kumar A., & Verma JP. (2018). Does plant–microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review? *Microbiol. Res.* 207, 41-52.

Lafi, F. F., Alam, I., Bisseling, T., Geurts, R., Bajic, V. B., Hirt, H., & Saad, M. M. (2017). Draft genome sequence of the plant growth–promoting rhizobacterium *Acinetobacter radioresistens* strain SA188 isolated from the desert plant *Indigofera argentea*. *Genome Announcements*, 5(9), e01708-16.

Li, H., Y. Qiu, T. Yao, Y. Ma, H. Zhang, and X. Yang. 2020. 'Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of *Avena sativa*, *Medicago sativa*, and *Cucumis sativus* seedlings.', *Soil and Tillage Research*,, 199, 104577.

- López-Elias, J., Garza Ortega, S., Huez López, M. A., Jiménez León, J., Rueda Puente, E. O., & Murillo Amador, B. (2015). Produccion De Pepino (*Cucumis Sativus* L.) En Funcion De La Densidad De Plantacion En Condiciones De Invernadero. *European Scientific Journal*, 11(24), 25–36. Retrieved from [http://www.agricultura.uson.mx/publicaciones/indexadas/ESJ_Vol.11No.24\(2015\)Articulo.pdf](http://www.agricultura.uson.mx/publicaciones/indexadas/ESJ_Vol.11No.24(2015)Articulo.pdf)
- López, E. J., Rodríguez, J.C., Huez, L. M. A., Garza, O. S., Jiménez, L. J., Leyva, E. E.I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.). bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *SciELO*, vol. 29, nº2, 21-27 pag.
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918.
- Luna-Martínez, L., Martínez-Peniche, R. A., Hernández-Iturriaga, M., Arvizu-Medrano, S. M., & Pacheco-Aguilar, J. R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 63–69.
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. *Red de Revistas Científicas de América Latina, Volumen 34, Numero3*.
- Martínez-Frías, J. C. (2012). Propagación y técnicas de cultivo del Pepino (*Cucumis sativus*). *Vinculando*, 1–3.
- Ma, Y., Rajkumar, M., Freitas, H. (2009a). Isolation and characterization of Ni mobilizing PGPB from serpentine soils and their potential in promoting plant growth and Ni accumulation by *Brassica spp*. *Chemosphere* 75, 719-725.
- Mena-Violante, G. H and V. Olalde-Portugal. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae* 113: 103-106.
- Mihalache, G., Zamfirache, M. M., Hamburda, S., Stoleru, V., Munteanu, N., & Stefan, M. (2016). Synergistic effect of *Pseudomonas lini* and *Bacillus pumilus* on runner bean growth enhancement. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 15(8).
- Mohammadi, A., and O. Mahmoud. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Appl. Energy* 87:191-196.
- Moreno, R. A., Aguilar, D. J., & Luévano, G. A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763- 774.

Moreno-Reséndez A., García-Mendoza V., Reyes-Carrillo J. & Cano-Ríos P. (2018) Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de Biofertilización para la agricultura sustentable. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 20(1), 68-83.

Moreno Reséndez, A., García Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68–83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>

Nadeem, S. M., Naveed, M., Zahir, Z. A., & Asghar, H. N. (2013). Plant–microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In Arora N. K. (Ed.), *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances* (pp. 51-103). India: Springer.

Parray, J. A., Jan, S., Kamili, A. N., Qadri, R. A., Egamber-dieva, D. & Ahmad, P. (2016). Current Perspectives on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(3), 877-902. doi:10.1007/s00344-016-9583-4.

Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*, 51(4), 403-415. doi: 10.1007/s00374-015-0996-1

Qin, Y., Shang, Q., Zhang, Y., Li, P., & Chai, Y. (2017). *Bacillus amyloliquefaciens* L-S60 Reforms the Rhizosphere Bacterial Community and Improves Growth Conditions in Cucumber Plug Seedling. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2620. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02620>

Rojas, A., A. Rodríguez, S. Montes, S. Pérez, A. Rodríguez y A. Guerrero. 2010. Evaluación de la promoción del crecimiento de *Cynodon dactylon* L. por rizobacterias productoras de fitohormonas aisladas de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Polibotánica* 29: 131-147.

Rojas-Solís, D., Hernández-Pacheco, C. E., & Santoyo, G. (2016). Evaluation of *Bacillus* and *Pseudomonas* to colonize the rhizosphere and their effect on growth promotion in tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(1), 45-57. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.06.009

Saidi, S., Cherif-Silini, H., Chenari Bouket, A., Silini, A., Eshelli, M., Luptakova, L., ... & Belbahri, L. (2021). Improvement of Medicago sativa crops productivity by the co-inoculation of Sinorhizobium meliloti–actinobacteria under salt stress. *Current microbiology*, 78(4), 1344-1357.

Saharan, B., & Nehra, V. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *Life Science and Medical Research*, 21, 1–30.

Sánchez, F.; Gonzales, L. Moreno, E. Pineda, J. & Reyes, E. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(3): 261-269.

Sánchez-López, D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido-Rubiano, M. F., & Bonilla-Buitrago, R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401–1415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1346>

Seminis. (2018). Producción y exportación del pepino cultivado en México. Retrieved from Bayer website: <https://www.seminis.mx/produccion-y-exportacion-del-pepino-cultivado-en-mexico/>.

Shukla K P, Sharma S, Singh N K, Singh V, Tiwari K, & Singh S. Nature and role of root exudates: efficacy in bioremediation. *Afr. J. Biotechnol.* (2011) 10: 9717–9724.

Singh A K, Varaprasad K S. Criteria for identification and assessment of agrobiodiversity heritage sites: Evolving sustainable agriculture. *Curr. Sci.* (2008) 94: 1131-1138.

Tjamos, E. C., Tjamos, S. E., & Antoniun, P. P. (2010). Biological management of plant diseases: Highlights on research and application. *Journal of Plant Pathology*, 92(4), 17-21.

Torsvik V, & Ovreas L. Microbial diversity and function in soils: from genes to ecosystems. *Curr. Opin. Microbiol.* (2002) 5: 240–245.

Van-Loon, L. C., & Bakker, P. A. H. M. (2003). *Signalling in Rhizobacteria-Plant Interactions BT - Root Ecology* (H. de Kroon & E. J. W. Visser, Eds.). https://doi.org/10.1007/978-3-662-09784-7_12

Velasco, V. J., R. Ferrera-Cerrato & J.J. Almaraz-Suarez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cascara. *Terra* 19(3): 241-248.

Vessey, K. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.

Vocciante, M., Grifoni, M., Fusini, D., Petruzzelli, G., & Franchi, E. (2022). The Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Mitigating Plant's Environmental Stresses. *Applied Sciences*, 12(3), 1231.

Wani, P.A., Khan, M.S., (2010). *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. *Food Chem. Toxicol.* 48, 3262–3267.

Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52(suppl_1), 487–511. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.suppl_1.487

Yang, J., J. W. Kloepper and C. Ryu. 2009. Rhizosphere bacterial help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science* 14: 1-4

Zahir, Z. A., Arshad, M., & Frankenberger, W. T. (2004). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Applications and Perspectives In Agriculture. In *Advances in Agronomy* (Vol. 81, pp. 97–168). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81003-9)

Zamudio González B. & Félix Reyes A. (2014). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero en valles altos del estado de México. Metepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, pág.4-7.