

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Rizobacterias en el Crecimiento y Calidad de  
Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*)

Por:

**LIZBETH YOSELYN JIMÉNEZ HERNÁNDEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México.

Jun

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Rizobacterias en el Crecimiento y Calidad de  
Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*)

Por:

**LIZBETH YOSELYN JIMÉNEZ HERNÁNDEZ**

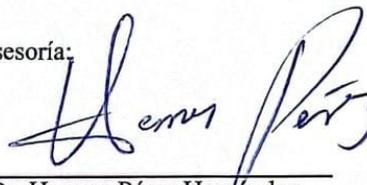
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Alonso Méndez López  
Asesor Principal

  
Dr. Hermes Pérez Hernández  
Asesor Principal Externo

  
Dra. Miriam Sánchez Vega  
Coasesor

  
Dra. Laura Raquel Luna García  
Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.  
Junio, 2024.

### Declaración de no plagio

El autor es responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se ocurrió en plagio o conducta académica incorrectas en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autor o plagio); comprobar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propio; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, bibliografías, mapas o cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Lizbeth Yoselyn Jimenez Hernandez  
Firma y nombre

Asesor



Dr. Alonso Mendez Lopez  
Firma y nombre

## AGRADECIMIENTOS

A mi querida y gloriosa Alma, Terra, Mater, **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por abrirme sus puertas y haberme permitido desarrollarme académicamente.

A **mis padres** por darme la oportunidad de continuar con mis estudios académicos, son los autores principales para que yo pudiera culminar este trayecto.

Al **Dr. Alonso Méndez López** por confiar en mí, por su tiempo, paciencia, orientación con sus conocimientos y motivación para que este trabajo se realizara.

A mis **co-asesores** por el apoyo para lograr el desarrollo de un excelente proyecto.

A mis amigos **Vianney De Jesús, Mishel Morales, Arturo Nieto, Jesus Pacheco, Román Castro y Cristobal Díaz** cada uno fue parte importante de mi estancia en la universidad, gracias por compartir momentos inolvidables en esta etapa de mi vida, agradezco por cada sonrisa, enseñanza y experiencia y en especial a mi mejor amiga **Erika Velasquez Alvarez**, quien fue mi compañera de carrera y quien hizo más ameno el trayecto universitario.

A **Karla Moreno, José Huertos y Arturo Barrera** gracias a ustedes por apoyarme en el desarrollo del experimento en campo y con los análisis dentro del laboratorio.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres:

**Sr. Jorge Jiménez Romero**

**Sra. Emilia Hernández Xoyatzin**

Por haberme forjado como persona, me siento muy orgullosa de lo que soy. Todos mis logros se los debo a ustedes, por creer en mí en todo momento, por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, por darme la fuerza para enfrentar los desafíos, agradezco infinitamente el apoyo incondicional, gracias a su esfuerzo y sacrificios me brindaron todo lo que estaba a su alcance para facilitarme la estancia en la universidad.

A mis hermanos:

**Jorge Yhovani Jiménez Hernández**

**Lizeth Yaquelyn Jiménez Hernández**

**Luis Ángel Hernández Zoyatzin**

**Jonathan Jesús Jiménez Hernández**

A ustedes porque también son parte de este proyecto, han sido una gran motivación para no rendirme y seguir creciendo como persona, aprecio todos los buenos deseos y consejos.

A:

**Brayan Alexis Aguilar López**

Por estar presente y ser parte este proceso, has sido una fuente de apoyo inquebrantable. Tu amor incondicional, tus palabras de aliento y comprensión me han impulsado a lograr cada una de las páginas escritas.

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos .....	3
III. HIPÓTESIS .....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
4.1 Importancia de los microorganismos en el suelo.....	4
4.2 Bacterias.....	5
4.3 Uso de bacterias benéficas en la agricultura .....	5
4.4 Biorremediación.....	6
4.5 Uso de bacterias para la recuperación de suelos .....	6
4.6 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal/Plant Growth Promoting Rhizobacteria .....	7
4.7 Mecanismos de crecimiento de las plantas que promueve las rizobacterias .....	8
4.8 Mecanismo directo.....	8
4.8.1 Fijación de nitrógeno.....	8
4.8.2 Solubilización de fosfatos.....	9
4.8.3 Solubilización de potasio.....	10
4.8.4 Producción de sideróforos.....	11
4.8.5 Producción de fitohormonas.....	12
4.8.6 Auxinas.....	12
4.8.7 Giberelinas.....	13
4.8.8 Citoquinina .....	14
4.8.9 Etileno.....	15
4.8.10 Ácido abscísico.....	15
4.9 Mecanismo indirecto.....	16
4.9.1 Antibióticos .....	16
4.9.2 Expolisacáridos.....	16

4.9.3	Actividad enzimática.....	17
4.9.4	Resistencia sistémica inducida.....	18
4.10	Efecto como biofertilizantes.....	19
4.11	<i>Enterobacter roggkampii</i> .....	19
4.12	<i>Stenotrophomona maltophilia</i> .....	20
4.13	<i>Rhizobium pusense</i> .....	21
4.14	<i>Serratia liquefaciens</i> .....	21
4.15	<i>Clavispora lusitaniae</i> .....	21
4.16	Origen del chile jalapeño.....	22
4.17	Identificación y descripción.....	22
4.18	Importancia económica.....	24
4.19	Producción mundial y nacional.....	24
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1	Ubicación del experimento.....	25
5.2	Localización geográfica del experimento.....	25
5.3	Preparación del terreno.....	25
5.4	Material biológico.....	25
5.5	Tratamientos.....	26
5.6	Diseño experimental.....	26
5.7	Establecimiento del experimento.....	27
5.8	Trasplante.....	27
5.9	Manejo del cultivo.....	27
5.10	Aplicación de tratamientos.....	28
5.11	Variables evaluadas.....	28
5.11.1	Actividad fotosintética.....	28
5.11.2	Altura de la planta (cm).....	28
5.11.3	Numero de frutos.....	28
5.11.4	Peso del fruto.....	28
5.11.5	Largo del fruto.....	28
5.11.6	Ancho del fruto.....	28
5.11.7	Firmeza del fruto.....	29

5.11.7 Interpretación del (pH).....	29
5.11.8 Conductividad eléctrica (C.E).....	29
5.11.9 Potencial de óxido reducción (ORP).....	29
5.11.10 Solidos solubles totales (°Brix).....	29
5.11.11 Acidez titulable .....	29
5.11.12 Vitamina C .....	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
6.1 Altura de la planta.....	32
6.2 Número total de frutos .....	33
6.3 Firmeza del fruto.....	34
6.4 pH del fruto .....	35
6.5 Conductividad eléctrica .....	36
6.6 Potencial de óxido reducción (ORP) .....	37
6.7 Solidos solubles totales (° Brix).....	38
6.8 Vitamina C .....	40
VII. CONCLUSIONES.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de cinco rizobacterias sobre la firmeza del fruto de chile jalapeño, manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).....	32
<b>Figura 2.</b> Efecto de cinco rizobacterias sobre el número total de frutos de chile jalapeño, manejados con y sin solución nutritiva Steiner. Letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).....	33
<b>Figura 3.</b> Efecto de cinco rizobacterias sobre la firmeza del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).....	34
<b>Figura 4.</b> Efecto de cinco rizobacterias sobre el pH del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ). .....	35
<b>Figura 5.</b> Efecto de cinco rizobacterias sobre la conductividad eléctrica (C.E) del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ). .....	36

**Figura 6.** Efecto de cinco rizobacterias sobre el potencial de óxido reducción (ORP) del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ )..... 38

**Figura 7.** Efecto de cinco rizobacterias sobre los sólidos solubles totales del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ). ..... 39

**Figura 8.** Efecto de cinco rizobacterias sobre la vitamina C del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ )..... 40

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de rizobacterias utilizadas para el experimento ..... 26

## RESUMEN

El chile jalapeño es uno de los cultivos de hortalizas más importantes dentro de la república mexicana, la producción es de gran valor debido a la importancia que va desde el nivel culinario hasta la generación de empleos. La inoculación de rizobacterias son una alternativa sustentable para reducir la incorporación de productos químicos al medio ambiente y al mismo tiempo obtener beneficios para el desarrollo y calidad de los frutos como la absorción de nutrientes, producción de fitohormonas, inhibir ataques de patógenos, entre otros. Por tal motivo, en esta investigación se evaluó los efectos de 5 rizobacterias (*pseudomonas*, *clavispora*, *serratia*, *eterobacter* y *rizobium*) en el crecimiento y calidad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*). En el experimento, se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar, con arreglo factorial 2×6 donde el primer factor correspondió al suministro de nutrición y el segundo factor a los tratamientos, que consistieron en la aplicación de los microorganismos. Cada unidad experimental se conformó por surcos de 3 m de longitud, los cuales tenían una separación entre surcos de 0.8 m y entre planta una distancia de 0.35 m. para un total de ocho plantas por unidad experimental de las cuáles se seleccionaron tres de ellas para las mediciones de características morfológicas y de calidad. Las rizobacterias promovieron de manera significativa los efectos evaluados como la altura de la planta, el número total de frutos por planta y en la calidad se determinó la firmeza, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E), potencial de óxido reducción (ORP), solidos solubles totales (°Brix) y vitamina C, esto tuvo mayor efecto en las plantas que no estuvieron bajo la fertilización con la solución nutritiva Steiner.

**Palabras clave:** agricultura orgánica, microorganismos benéficos, calidad nutraceutica

## I. INTRODUCCIÓN

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*) es una planta que pertenece a la familia Solanaceae, Genero Capsicum. Dentro de este género solo se ha confirmado que existen 5 especies domesticadas (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*) la especie *C. annuum* es una de las especies más cultivadas y de mayor importancia económica, social y cultural en México (Intagri, 2020). En el 2020, México ocupó el segundo lugar mundial como productor de chiles, con un volumen de producción de 3,324,260 toneladas. Hay más de 100 variedades de chiles en México, de los cuales solo 25 son comercializadas en fresco, sobresaliendo el jalapeño, el poblano y el serrano (CIAD, 2021). El fruto del chile jalapeño tiene importancia dentro de la dieta humana y farmacéutica debido a que contiene antioxidantes, carotenoides, fenoles, ácido ascórbico, vitamina C y capsaicina que es el principal compuesto y por el cual se identifica esta especie, y la que hace que los chiles sean muy picantes (Natividad *et al.*, 2021).

El suelo juega un papel indispensable dentro de la agricultura; además, para una buena producción de los cultivos se han implementado insumos químicos como fertilizantes, pesticidas, fungicidas, herbicidas, insecticidas y nematicidas, riegos intensivos entre otras prácticas, no obstante, el uso indiscriminado de estas prácticas han creado un impacto ambiental negativo dando lugar a contaminaciones no solo en el suelo, sino también, en el agua, aire, y en la salud humana y animal, sin olvidar la emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de la capa de ozono, entre otros (Bisht y Chauhan, 2020). Ante este panorama la investigación en la agricultura orgánica ha crecido y ha generado técnicas agrícolas respetuosas con el medio ambiente, facilitando prácticas para mermar la producción de productos alimenticios libres de contaminantes, amigables con el entorno (Maçik *et al.*, 2020).

Una forma de disminuir la aplicación de productos químicos es la aplicación de microorganismos beneficiosos, entre ellos las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que desempeñan acciones que contribuyen aumentando la fertilidad del suelo, ayudando tener mayor disponibilidad de nutrientes y directa o indirectamente en el rendimiento de los cultivos, erradicación de fitopatógenos, promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Gupta *et al.*, 2015 a).

La presente investigación se realizó con el propósito de conocer los efectos de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal inoculadas en chile jalapeño para la evaluación en la etapa de crecimiento de la planta y calidad de los frutos, sometidas bajo dos condiciones de fertilización, al 50% de la solución Steiner y sin fertilización.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Estudiar el impacto de cinco rizobacterias en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*) manejados bajo dos condiciones de nutrición.

### **2.2 Específicos**

1. Evaluar el efecto de los microorganismos y condición de nutrición sobre el crecimiento vegetativo de las plantas de chile jalapeño.
2. Determinar el efecto de los microorganismos y condición de nutrición sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de chile jalapeño.

## **III. HIPÓTESIS**

La rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal afectan positivamente las características morfológicas de la planta y los parámetros de calidad del chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*) bajo condiciones de nutrición y sin nutrición vegetal.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Importancia de los microorganismos en el suelo

Los microorganismos, también conocidos como microbios, incluyen una gran variedad de organismos unicelulares sin núcleo (procariotas) y con núcleo (eucariotas). Entre los microorganismos encontramos virus, bacterias y protozoarios (López-Pliego y Castañeda, 2022), dichos microorganismos son un componente clave en los ecosistemas naturales (Fierer, 2017).

Estos organismos determinan el ciclo biogeoquímico para la disponibilidad de nutrientes minerales del suelo, como nitrógeno, fósforo y azufre, que son los principales nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas (Basu *et al.*, 2021), y contribuyen a la fertilidad del suelo (Passari *et al.*, 2015), estos seres vivos tienen la capacidad de descomponer o limpiar ciertos tipos de contaminación (FAO, 2020), y gracias a su actividad enzimática y la cantidad de hormonas producidas los microorganismos del suelo son indicadores importantes de la calidad del suelo y su salud, debido a su respuesta inmediata a los cambios naturales o antropogénicos del suelo (Wolejko *et al.*, 2020). Las plantas establecen interacciones con multitud de microorganismos que influyen en su desarrollo y supervivencia, la planta depende de su microbiota para obtener nutrientes y como escudo contra enfermedades, entre otros, y a cambio, la planta le proporciona nutrientes en forma de exudados que pueden representar hasta un 21% del carbono que fija fotosintéticamente (Carrasquilla, 2021).

Según Joshi *et al.* (2019), los microorganismos se pueden dividir en fitoestimulantes, mejoradores, biorremediadores y biofertilizantes. Los **fitoestimulantes** tienen la capacidad de estimular el crecimiento de plantas incluyen la producción de fitohormonas, compuestos volátiles, compuestos antimicrobianos (producción de enzimas líticas, sideróforos), fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfato y otros (Rojas *et al.*, 2015) **mejoradores**, los cuales favorecen la estructura del suelo y sus propiedades físico-químicas debido a la formación de agregados, lo cual aumenta su fertilidad (Joshi *et al.*, 2019), **biorremediadores**, son microorganismos y sus productos para eliminar, reducir, contener o transformar los contaminantes, en particular los hidrocarburos de petróleo en contaminantes benignos presentes en suelos, sedimentos, agua y aire (Adams *et al.*, 2015), **biofertilizantes**, microorganismos que ayudan a mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y logrando

así disminuir los efectos causados por el exceso de fertilizantes, promueven el crecimiento al aumentar la oferta o disponibilidad de nutrientes primarios a la planta huésped (Barajas, 2017).

#### **4.2 Bacterias**

Las bacterias son organismos unicelulares procariontes, esto quiere decir que están formados por una sola célula carente de núcleo, su ácido desoxirribonucleico (ADN) se encuentra libre en el citoplasma y no tienen organelos, como las mitocondrias, cloroplastos o aparato de Golgi, etc (Conabio, 2022), son los organismos más abundantes en el planeta tierra y poseen una gran versatilidad en su metabolismo, lo que les ha permitido colonizar una gran diversidad de hábitats en el planeta; desde el suelo que pisamos; animales, el humano y hasta algunos materiales que parecieran inertes, como algunos plásticos (López-Pliego y Castañeda, 2022).

#### **4.3 Uso de bacterias benéficas en la agricultura**

El uso de bacterias dentro del área de la agricultura proporciona una gran cantidad de beneficios a los cultivos. Estas, participan como promotoras de crecimiento vegetal, fijación de nitrógeno atmosférico, conversión de nutrientes no asimilables a asimilables y control de enfermedades, algunas encontrándose en forma libre y otras asociadas con las plantas (Filian, 2021), estos seres vivos producen compuestos antimicrobianos para competir por nutrientes y espacio en un hábitat particular es por ello que han desarrollado mecanismos que les otorgan ventajas dentro de la comunidad microbiana. Las sustancias inhibidoras mejor conocidas, producidas por bacterias incluyen: antibióticos, ácidos orgánicos, sideróforos, antifúngicos y bacteriocinas (Cesa-Luna *et al.*, 2020).

Dentro de las bacterias existen géneros que destacan, como el género *Bacillus*, las cuales son fuente de nutrientes, materia orgánica, sustancias húmicas, reguladores de crecimiento y diferentes compuestos de naturaleza enzimática y proteica, los cuales influyen sobre el rendimiento de los cultivos y mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo además de tener un alto potencial como antagonistas de fitopatógenos (González *et al.*, 2017), *Bacillus* y más géneros como *Pseudomonas* y *Actinobacteria* se suman a describir la importancia de su aplicación, ayudado a la reducción de fertilizantes químicos en un 90%, ya que en especial estas toleran un alto nivel de toxicidad y estrés bajo los fertilizantes químicos (Quiroz, 2021).

La aplicación de bacterias se ha utilizado en cultivos como *Solanum lycopersicum* colaborando a incrementar el rendimiento y el tamaño del fruto, también es de ayuda para contrarrestar el estrés causado por una disminución de agua, en la etapa de desarrollo (Álvarez, 2023). En nabo y Maíz aumentó la altura de la planta, longitud y diámetro de raíz, biomasa fresca y seca de las plántulas y radícula, también elevó el diámetro y longitud de la mazorca (Torres *et al.*, 2021).

#### **4.4 Biorremediación**

La biorremediación consiste en la degradación, erradicación, inmovilización o desintoxicación de diversos desechos químicos y materiales físicos peligrosos del entorno a través de la acción integral de microorganismos (Sharma, 2020), para poder transformarlos en formas menos letales (Patel *et al.*, 2022), algunos contaminantes que se tratan con biorremediación son el petróleo y algunos derivados, solventes y plaguicidas (EPA, 2012).

Los procesos microbianos más usados por las bacterias en la biorremediación son la sorción, precipitación, lixiviación y volatilización de metales pesados (Covarrubias *et al.*, 2015), este proceso de biorremediación se puede llevar a cabo *ex situ* e *in situ*, dependiendo de varios factores, que incluyen el costo, las características del sitio, el tipo y la concentración de contaminantes (Sharma, 2020).

#### **4.5 Uso de bacterias para la recuperación de suelos**

Los hidrocarburos de petróleo, los metales pesados y los pesticidas agrícolas tienen efectos mutagénicos, cancerígenos, inmunotóxicos y teratogénicos y provocan cambios drásticos en las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, representando así un grave peligro para la salud (Sales da Silva *et al.*, 2020) y contribuyen sustancialmente a la contaminación del suelo y agua, y al sector agrícola en general convirtiendo al recurso poco apto para las actividades productivas, por lo que, la biorremediación una alternativa con la finalidad de recuperar distintos ecosistemas contaminados (suelo y agua), los microorganismos que más se utilizan son las bacterias ya que presentan un mayor porcentaje de degradación de hidrocarburos debido a que metabolizan los compuestos orgánicos (Ramón, 2020; Santos, 2020), aumentando la biodisponibilidad de nutrientes mediante la fijación de nitrógeno y la movilización de nutrientes clave (fósforo, potasio y hierro) a las plantas de cultivo al tiempo que remedia la estructura del suelo mejorando su agregación y estabilidad (Fernández-Villacorta *et al.*, 2021).

Se han identificado bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter sp*, bacterias resistentes a metales con capacidad para degradar hidrocarburos haciéndolas candidatas para la biorremediación de suelos contaminados, además son capaces de crecer en presencia de metales como cadmio, zinc, plomo y cobre (Flores-Pantoja *et al.*, 2022). Un estudio en la ciudad de Quevedo, Ecuador, fue evaluar la eficiencia de degradación de hidrocarburos totales de petróleo entre *pseudomonas aeruginosa* y *pseudomonas putidia*, siendo así *P. putidia* más eficiente, pero ambas mostraron crecimiento y adaptación en ambientes contaminados de petróleo (Pacheco y Carriel, 2020). En una investigación se demostró la biodegradación de petróleo por *Basillus thuringiensis*, como una alternativa para la remediación de suelo agrícola contaminado con petróleo “Diésel II” mediante la aplicación de técnicas como la bioaumentación y bioestimulación ya que son unas de las metodologías de biorremediación de suelos contaminados (Patiño *et al.*, 2021).

Estos estudios realzan la importancia de las bacterias para la obtención de suelos con fines agrícolas, cumpliendo la función de mitigación y/o remoción de contaminantes debido a la capacidad de las bacterias de degradar hidrocarburo vertido en el suelo (Paredes *et al.*, 2022).

#### **4.6 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal/Plant Growth Promoting Rhizobacteria**

La rizosfera es la zona del suelo circundante y más cercano a las raíces de las plantas y contiene principalmente material rocoso, partículas de tierra de diferentes texturas, (Flores-Álvarez y Sánchez-Minutti, 2024) es una zona estrecha de suelo influenciada por el sistema de raíces de las plantas y que es rica en aminoácidos y azúcares, que proporcionan una fuente de energía y nutrientes para el crecimiento de bacterias, lo prueba un grupo diverso de microorganismos que colonizan este hábitat (Sharma *et al.*, 2020) denominados rizobacterias o también denominadas PGPR, por sus siglas en inglés (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Aguilar, 2018).

Las PGPR desempeñan papeles importantes como producción de fitohormonas, sideróforos, biopelículas, exopolisacáridos y aumentando de la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera (Naseem *et al.*, 2018), que facilitan el crecimiento de la raíz, secretan compuestos que mejoran la estructura del suelo, favorecen la captación de nutrientes y protegen a la planta contra patógenos (Luna, 2022), promueven el desarrollo de las plantas y la supresión de fitopatógenos (Gupta *et al.*, 2015 b), la interacción de las rizobacterias media la actividad

celular en las plantas para mejorar el estrés por salinidad, los PGPR también regulan positivamente la expresión de genes que responden al estrés (señalización de fitohormonas) y proteínas (almacenamiento vegetativo, fotosíntesis y enzimas antioxidantes) (Ilangumaran y Smith, 2017).

#### **4.7 Mecanismos de crecimiento de las plantas que promueve las rizobacterias**

Existen varios mecanismos utilizados por las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sharma *et al.*, 2020), como la solubilización y movilización de minerales, haciéndolos más biodisponibles para su utilización (mecanismos directos), o también inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos (mecanismos indirectos), influyendo de forma positiva en el crecimiento vegetal (Castaño *et al.*, 2021).

**4.8 Mecanismo directo** se considera directo, cuando el microorganismo es el encargado de aportar nutrientes esenciales o fitohormonas a las plantas, (Molina-Romero *et al.*, 2015).

**4.8.1 Fijación de nitrógeno.** El nitrógeno es un elemento químico, pertenece al grupo de los no metales y forma un gas diatómico ( $N_2$ ), el N es el elemento que las plantas necesitan en mayor cantidad con respecto a otros, es el constituyente principal de diversos componentes celulares, como aminoácidos y ácidos nucleicos (Cruz, 2019) El Nitrógeno es abundante en la naturaleza como gas  $N_2$ , pero en esta forma no está disponible para que las plantas lo absorban y utilicen directamente (Barrera-Cobos y Sáenz-Vélez, 2016).

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es el proceso mediante el cual se da la reducción enzimática de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a amonio ( $NH_4$ ) (Plaza y Intriago, 2020), una forma que pueden utilizar las plantas (Mus *et al.*, 2016), la FBN necesita un elevado aporte de energía para poder llevar a cabo este proceso, utilizando la enzima nitrogenasa y ATP para fijar nitrógeno (Sun *et al.*, 2021) La mayor parte del N fijado en la naturaleza se proporciona a través de la fijación biológica de  $N_2$ , que es realizada por un gremio de microorganismos fijadores de  $N_2$  o diazótrofos (Angel *et al.*, 2018) Los

diazótrofos simbióticos como bacterias del género *Rhizobium* forman un órgano en las raíces conocidas como nódulo radicular en donde se produce la fijación de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ), las plantas son las encargadas de regular la fijación del  $N_2$ , mediante dos procesos: 1) control de la cantidad de nódulos que desarrolla, y; 2) reducción de la actividad de los nódulos, es decir, la cantidad de  $N_2$  fijado (Osses y Cabeza, 2021).

Los nódulos son estructuras donde las bacterias son aisladas del oxígeno atmosférico, que permite la actividad del complejo enzimático de la nitrógenasa (Alicia *et al.*, 2020).

El grupo más conocido de bacterias fijadoras de nitrógeno simbióticas son los rizobios. Sin embargo, otros dos grupos de bacterias, incluidas *Frankia* y *Cyanobacteria*, también pueden fijar nitrógeno en simbiosis con las plantas (Lindström y Mousavi, 2020), y bacterias de vida libre pertenecientes a géneros como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* o *Clostridium* (Soumare *et al.*, 2020).

**4.8.2 Solubilización de fosfatos.** El fósforo (P) es uno de los macronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Sarmah y Sarma, 2023), A pesar de la abundancia de fósforo en el suelo, tanto en forma orgánica como inorgánica, en su mayor parte no está disponible para la absorción de las plantas (Rawat *et al.*, 2021). En la actualidad, el contenido total de fósforo de los suelos en todo el mundo es de 400 a 1000  $mg \cdot Kg^{-1}$ , de los cuales sólo entre 1,00 y 2,50 % está disponible para las plantas (Pan y Cai, 2023).

Las PGPR son capaces de hidrolizar compuestos de fósforo insolubles orgánicos e inorgánicos a una forma de P soluble que las plantas pueden asimilar fácilmente (Kalayu, 2019) es posible mediante mecanismos tales como la producción de ácidos orgánicos, ácido inorgánico,  $H_2S$ , sideróforos y protones; excreción de enzimas extracelulares; y vía de oxidación directa (Yadav, 2022), las raíces de las plantas absorben P inorgánico en forma de

ortofosfato a través de mecanismos fisiológicos no simbióticos; sin embargo, a través de la simbiosis con las PGPR, facilita, aún más, su absorción (Yanez-Ocampo *et al.*, 2020), Estos microorganismos pueden solubilizar el P de minerales poco solubles liberando ácidos orgánicos, que promueven la formación de complejos estables con cationes en solución o en la superficie de minerales, liberando el anión fosfato, además producen muchos ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, glucónico, itacónico, málico y oxálico (Correal, 2015).

Bacterias de los géneros *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Gluconacetobacter*, *Micrococcus*, *Pantoea*, *Pseudomonas* y *Rhizobium* han sido reportadas por su capacidad para solubilizar fosfatos (Moreno-Conn *et al.*, 2021).

**4.8.3 Solubilización de potasio.** El potasio es uno de los elementos más indispensables en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal (Pérez-Pérez *et al.*, 2021), ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, osmorregulación, actividad estomática, transferencia de energía, transporte en el floema, equilibrio anión-cación y resistencia al estrés biótico y abiótico (Intagri, 2017), en la mayoría de los suelos, aproximadamente el 90% del potasio existe en forma mineral no disponible, es decir, feldespato, mica y ortoclase, lo que representa una limitación para la absorción de este nutriente por las plantas (Imran *et al.*, 2020).

Las bacterias solubilizadoras de potasio (KSB) aumentan la disponibilidad de K en los suelos, desempeñando así un papel importante para el establecimiento de cultivos en suelos limitados en K (Ahmad *et al.*, 2016), las KSB, excretan ácidos orgánicos, que solubilizan el potasio no disponible y lo ponen a disposición de las raíces de las plantas (Elías y Valeria, 2016) se

producen ácidos orgánicos como el tartárico, oxálico y cítrico que están destinados a la acidificación (disminución del pH) del nicho circundante y la disolución de K (Kaur *et al.*, 2021).

Algunas bacterias del suelo como *Pseudomonas vancouverensis*, *P. aeruginosa*, *Burkholderia cepacia*, *Paenibacillus glucanolyticus*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus mucilaginosus*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus megaterium* pueden liberar K de los organismos portadores de K minerales (Sarikhani *et al.*, 2018).

**4.8.4 Producción de sideróforos.** Entre los micronutrientes, el hierro (Fe), como ion metálico, es un oligoelemento muy necesario e insustituible debido a su papel en varios procesos bioquímicos fundamentales asociados con el desarrollo y crecimiento de todos los organismos vivos (microbios, animales y plantas) (Yue *et al.*, 2022), es un metal de transición que puede presentar estados de oxidación (II) y (III), siendo esa valencia variable la que hace que tenga un papel fundamental en las reacciones de oxidación-reducción, reacciones celulares necesarias para el proceso vital (López, 2022). Aunque está presente en grandes cantidades en la corteza terrestre, el Fe puede ser un elemento escaso debido a su baja biodisponibilidad (Soares, 2022) para hacer frente a la escasez de hierro, las bacterias han desarrollado una serie de mecanismos para adquirir este oligoelemento. Estos mecanismos incluyen la absorción de hierro unido a moléculas orgánicas como el citrato o el hemo, la absorción de hierro por sistemas de absorción unidos a membranas y la secreción de sideróforos siendo este proceso uno de los más importantes (Kramer *et al.*, 2020), el cual tiene alta afinidad por el Fe (III), al secretarlos al medio, los sideróforos forman complejos con Fe (III) que son reconocidos por receptores de membrana del microorganismo y son introducidos en las células mediante un mecanismo de transporte adecuado (López, 2022), aumentando y regulando así la biodisponibilidad del hierro (Timofeeva *et al.*, 2022).

Se identificaron a estas bacterias como pertenecientes a los géneros *Chryseobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Staphylococcus*, *Curtobacterium*, *Enterobacter*, *Agrobacterium*, *Ochrobactrum*, *Serratia*, *Stenotrophomonas* y *Acinetobacter* exhibiendo así una mayor capacidad para producir sideróforos (Herrera-Quiterio *et al.*, 2023).

**4.8.5 Producción de fitohormonas.** Una fitohormona u hormona vegetal se define como una sustancia orgánica, distinta de los nutrientes (Fichet, 2017), Se sintetizan en una parte u órgano de la planta a concentraciones muy bajas (<1 ppm) y actúan en ese sitio o se translocan a otro en donde regulan eventos fisiológicos definidos (estimulan, inhiben o modifican el desarrollo) (Díaz, 2017).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) sintetizan y exportan fitohormonas que se denominan reguladores del crecimiento vegetal (PGR) (Amara *et al.*, 2015). Las fitohormonas son sustancias orgánicas producidas endógenamente, indispensables para regular el crecimiento y el rendimiento de las plantas y también desempeñan un papel importante en la inducción de tolerancia de las plantas contra diversos estreses bióticos y abióticos (Khan *et al.*, 2020) jugando un papel fundamental en la adaptación y supervivencia de una planta (Orozco-Mosqueda *et al.*, 2023). Entre cinco clases de fitohormonas más importantes son las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico (Amara *et al.*, 2015)

**4.8.6 Auxinas.** El nombre auxina proviene de la palabra griega "auxein", que significa "crecer" (Kou *et al.*, 2022). Las auxinas son hormonas de crecimiento de plantas, debido a su gran capacidad de estimular el crecimiento diferencial en respuesta a estímulos de luz (Vega-Celedón *et al.*, 2016), estas hormonas están naturalmente presentes en las plantas y participan en varios procesos biológicos, procesos en respuesta a diversos estímulos ambientales, incluyendo señalización celular, regulación del ciclo celular, endocitosis, embriogénesis, organogénesis y regulación del crecimiento (Du *et al.*, 2020)

y es clave para las interacciones de las plantas con el medio ambiente, incluidas las respuestas a estímulos bióticos y abióticos (Mazzoni-Putman *et al.*, 2021), de igual manera participa en la regulación de una variedad de actividades de la vida vegetal, incluido el desarrollo de hojas, flores, raíces y maduración, senescencia y caída de frutos (Kou *et al.*, 2022).

Existen varias auxinas naturales o sintéticas como el ácido indol-acético (AIA), ácido indol-3-butírico (IBA), el ácido 2-fenilacético (APA), el ácido 4-cloroindol-3-acético (4-CI-AIA), el ácido 1-naftalen acético (ANA), el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), la dicamba y el picloram (Korasick *et al.*, 2013), la principal auxina natural de las plantas es el ácido indol-3-acético (IAA o AIA), la cual, compone una gran cantidad de respuestas de desarrollo que dependen en gran medida de la formación de gradientes de concentración de auxinas dentro de los tejidos de las plantas (Casanova-Sáez *et al.*, 2021), las inoculaciones de rizobacterias productoras de ácido indol acético aumentan la densidad estomática y el nivel de metabolito secundario y tienen un efecto sinérgico sobre la biosíntesis de monoterpenos (Çakmakçı *et al.*, 2020).

Las rizobacterias tienen la capacidad de producción de auxinas algunas especies bacterianas, como *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Pseudomonas* y *Rhizobium* (Park *et al.*, 2021).

**4.8.7 Giberelinas.** Las giberelinas consisten en una gran familia de hormonas de crecimiento vegetal, que se sintetizan a través de la ruta de los terpenos a partir del difosfato de geranylgeranilo y presentan una estructura básica formada por un esqueleto tetracíclico *de ent*-giberelano (Camara *et al.*, 2018). Existen más de 130 giberelinas en las plantas, pero muy pocas tienen actividad biológica (Díaz, 2017) como lo son GA 1, GA 3, GA 4 y GA 7 (He *et al.*, 2020), las giberelinas son producidas por todas las plantas vasculares, hongos

y bacterias que se asocian con plantas como patógenos o simbioses, (Hedden, 2020).

Las giberelinas (GA) son una clase de fitohormonas diterpenoides tetracíclicas (Gao y Chu, 2020) asociadas con la regulación de la estatura de la planta y la latencia de las semillas (Castro *et al.*, 2022) sin embargo son esenciales para diversos procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Sansavini *et al.*, 2019) la regulación del desarrollo de flores, frutos y semillas (Takehara y Ueguchi, 2018), la determinación de la expresión sexual (Niharika *et al.*, 2021) fotomorfogénesis, también son fundamentales en la respuesta a diferentes estímulos ambientales como la gravedad, la luz o la temperatura (Hernández-García *et al.*, 2021), además, las AG regulan la adaptación de las plantas al estrés biótico y abiótico. Como consecuencia, la manipulación de los niveles de GA se utiliza a menudo en la práctica agrícola para optimizar el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Gao y Chu, 2020).

Los géneros *Pseudomonas fluorescens*, (Ossa y Ochoa, 2023), *Azospirillum* (Sánchez, 2022), *Bacillus spp* (Ishak *et al.*, 2016), *Rhizobium* y *S. meliloti* (Romero y González, 2021) son bacterias que producen giberelinas y además ayudan a estimular el crecimiento óptimo de la planta.

**4.8.8 Citoquinina** es una hormona vegetal multifacética (Pavlů *et al.*, 2018) influye en diversos rasgos del crecimiento, desarrollo y fisiología de las plantas, como la germinación de semillas, la dominancia apical, el desarrollo de flores y frutos, la senescencia de las hojas (Akhtar *et al.*, 2020) durante la senescencia de las hojas, las citoquininas reducen la acumulación de azúcar, aumentan la síntesis de clorofila y prolongan el período fotosintético de las hojas (Wu *et al.*, 2021), las citoquininas también desempeñan un papel clave en respuesta al estrés abiótico, como la sequía, la salinidad y las temperaturas altas o bajas (Li *et al.*, 2021).

Muchas bacterias pertenecientes a diversos géneros, incluidos *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Mmethylobacterium* (Frébortová y Frébort, 2021), *Pseudomonas* (Mekureyaw *et al.*, 2022) y *Bacillus* (Zerrouk *et al.*, 2020) pueden producir citoquininas

**4.8.9 Etileno** es una hormona vegetal endógena y gaseosa que participa en una variedad de procesos fisiológicos y de desarrollo, desde la regulación del crecimiento de los órganos hasta la inducción de la maduración de la fruta, (Chen *et al.*, 2021 a), estimulación de la formación de raíces adventicias y senescencia, entre otros (Intagri, 2019) de igual manera interviene también como hormona multifuncional interfiriendo en el crecimiento adaptativo y respondiendo al estrés biótico/abiótico (Zhou *et al.*, 2020). Estimula el crecimiento del hipocótilo en la luz y lo inhibe en la oscuridad (Ahammed *et al.*, 2020) Si el nivel de etileno aumentara más allá del límite, también puede provocar la muerte de las plantas (Chandwani y Amaresan, 2022).

*Brevibacillus* (Vinent *et al.*, 2014) es una bacteria a la que se le atribuye la producción de etileno.

**4.8.10 Ácido abscísico (ABA)** es una molécula pequeña y está clasificada como una fitohormona sesquiterpenoide (C<sub>15</sub>H<sub>20</sub>O<sub>4</sub>) se sintetiza de novo durante la deshidratación y se degrada durante la rehidratación después de la deshidratación (Roychoudhury *et al.*, 2013), las funciones más conocidas del ABA se derivan de su papel como fitohormona importante en la resistencia al estrés abiótico de las plantas (Lievens *et al.*, 2017) de igual manera es un regulador clave esencial que ajusta muchos aspectos del crecimiento y desarrollo (Ali *et al.*, 2020) de las plantas, como el cierre de estomas, la acumulación de cera cuticular, la senescencia de las hojas, la latencia de las yemas, la germinación de las semillas, la regulación osmótica y la inhibición del crecimiento, (Chen *et al.*, 2020), la modulación del sistema radicular y la organización de comunidades microbianas del suelo (Muhammad *et al.*, 2022).

Existen algunas especies como: *Azospirillum brasilense*, *Arthrobacter koereensis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* que han demostrado la capacidad para producir esta fitohormona (Egamberdieva *et al.*, 2017).

**4.9 Mecanismo indirecto** Las rizobacterias protegen a la planta de los patógenos por medio de la resistencia sistémica inducida o biocontrol (Molina-Romero *et al.*, 2015).

**4.9.1 Antibióticos** son fármacos relevantes para el tratamiento de enfermedades infecciosas de origen microbiano en humanos y animales (Serna-Galvis *et al.*, 2022) ya sea eliminando las bacterias o dificultando su crecimiento y multiplicación (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC, 2023), la producción de antibióticos es una de las estrategias de biocontrol más estudiadas de las rizobacterias e incluyen una amplia variedad de antibióticos (amfisina, 2,4-diacetilfloroglucinol (DAPG), oomicina-A, fenazina, piroluteorina, pirrolnitrina, tensina, oligomicina A, kanosamina, zwittermicina A y xantobaccina) (Odoh, 2017).

El estilo de vida de las actinobacterias es micelial y pasan por una diferenciación morfológica compleja, alrededor del 66.67% de los antibióticos de origen natural empleados en clínica son producidos por bacterias correspondientes a este género (Barka *et al.*, 2016), se encuentran investigaciones de bacterias como *Pseudomonas* (Ruiz-Hernández *et al.*, 2023), *Bacillus* y *Streptomyces* (Fernández-Villacorta *et al.*, 2020) que han sobresalido en la producción de antibióticos.

**4.9.2 Exopolisacáridos (EPS)** producidos por bacterias son mezclas de polímeros de mayor peso molecular (Latif *et al.*, 2022) se componen principalmente de polisacáridos, proteínas, sustancias húmicas, ácido urónico, ácido nucleico, lípidos y glicoproteínas (Lal *et al.*, 2018), los EPS son cadenas de carbohidratos excretadas en el interior de las células como mecanismo de protección por microorganismos en forma de bioflim (Torrent *et al.*, 2022) se adhieren a las superficies y ayudan en la agregación del suelo, esta adherencia

con las partículas del suelo retarda su degradación ya que pueden degradarse muy fácilmente si están presentes en su estado innato (Latif *et al.*, 2022). Los EPS forman una capa que rodea a las células para protegerlas contra condiciones ambientales adversas como temperatura extrema, estrés por acidez del medio, fagocitosis, macrófagos, antibióticos (Canseco *et al.*, 2023), *la agregación microbiana, la interacción planta-microbio, la unión a la superficie, la biorremediación* (Naseem, *et al.*, 2018) así mismo, regulan el flujo de agua a través de las raíces de las plantas (Khan *et al.*, 2016) como los EPS son estructuras muy hidratadas, tiene la función de conferir protección a las células frente a la deshidratación, es un gran reservorio de agua que facilita la dispersión de los nutrientes que se encuentren disponibles en el suelo (Roja y Mariana, 2020) para mejorar las importantes actividades enzimáticas en el suelo (Deka *et al.*, 2019).

También se conoce a EPS bacterianos como seguros por tener características fisicoquímicas innovadoras, es decir, viscosificantes, estabilizantes, gelificantes, emulsionantes, antiinflamatorias, (Shahzad *et al.*, 2018), *para espesar, coagular, suspender y formar películas, las biopelículas formadas por las PGPR alrededor de las raíces están formadas por poblaciones bacterianas o comunidades bacterianas que, encerradas en el interior de la matriz extracelular polimérica formada por las propias bacterias, se adhieren a las superficies externas que contienen suficiente humedad* (Naseem *et al.*, 2018) de igual modo tienen propiedades antitumorales, antioxidantes, antibiopelícula, inmunomoduladora, prebiótica, (Canseco *et al.*, 2023) que las hacen apropiadas para su uso en industrias agrícolas, alimentarias y otras.

*Bacterias como azospirillum* (Khan y Bano, 2019) *bacillus y pseudomonas* exhibieron una producción de EPS (Ghosh *et al.*, 2019).

**4.9.3 Actividad enzimática.** Las enzimas son sustancias o macromoléculas biológicas producidas por un organismo vivo, que actúan como un catalizador para llevar a cabo una reacción bioquímica específica, son altamente

selectivas y pueden acelerar en gran medida tanto la velocidad como la especificidad de las reacciones metabólicas (Rua y Rojas, 2016)

Algunas de las enzimas comúnmente disponibles son la celulasa y la hemicelulasa (Zirkler *et al.*, 2014) fosfatasas ácidas y a las fitasas, debido a la presencia en el suelo de los sustratos sobre los que actúan de forma predominante (Restrepo-Franco *et al.*, 2015), seguidas de las proteasas, lipasas, quitinasas (Jain *et al.*, 2015) arilsulfatasa,  $\beta$ -glucosidasa y ureasa (Wang *et al.*, 2020)

La comunidad bacteriana del suelo productora de enzimas estuvo dominada por los filos *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Chloroflexi* y *Bacteroidetes* (Chen *et al.*, 2021 b), *Firmicutes*, *Ascomycota*, *Bacillus*, *Blastococcus*, *Streptomyces* y *Penicillium* (Wang *et al.*, 2020)

**4.9.4 Resistencia sistémica inducida.** La aplicación de microbios beneficiosos desencadena un estado de resistencia mejorado, también denominado resistencia sistémica inducida (ISR), tras la activación de ISR, las plantas emplean señalización sistémica a larga distancia para brindar protección al tejido distal (Yu *et al.*, 2022) y hace que el huésped sea menos susceptible a una infección posterior, y es de gran interés desde una perspectiva agronómica porque es eficaz contra un amplio espectro de patógenos microbianos, nematodos e insectos (Mhatre *et al.*, 2018).

Estos microbios que provocan ISR pueden mediar en las respuestas morfológicas, fisiológicas y moleculares de las plantas (Zhu *et al.*, 2022), los principales determinantes de la resistencia sistémica inducida (ISR) mediada por PGPR son los lipopolisacáridos, los lipopéptidos, los sideróforos, la pirocianina, los antibióticos 2,4- diacetilforoglucinol, el volátil 2,3-butanodiol, la bencilamina N-alquilada y los compuestos regulados por el hierro (Meena *et al.*, 2020).

Un gran número de cepas de PGPR como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Azospirillum* y *Paenibacillus*, inducen resistencia sistémica de las plantas (Gkizi *et al.*, 2016).

#### **4.10 Efecto como biofertilizantes**

Las PGPR como biofertilizantes son productos (de base líquida o portadora) que contienen bacterias vivas o inactivas, solos o en combinación con otros macroorganismos como actinomicetos, hongos, algas, etc., (Basu *et al.*, 2021) estos organismos colonizan la rizosfera y el interior de la planta, aplicándolos a la semilla, la superficie de la planta o el suelo promoviendo el crecimiento de la planta directa o indirectamente (Aloo *et al.*, 2022) mediante la optimización de nutrientes del suelo por medio de la expansión de la superficie de las raíces, la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfato y la combinación de todos estos mecanismos (Riaz *et al.*, 2021), la producción de hormonas estimulantes del crecimiento de las plantas y metabolitos secuestradores de hierro llamados sideróforos (Aloo *et al.*, 2022), antibióticos, enzimas, sustancias antifúngicas y antibacterianas y/o al liberar hormonas y contrarrestar estrés (Singh *et al.*, 2021), al tiempo que se reduce el uso de fertilizantes químicos (Riddech *et al.*, 2024) y protege la litosfera, mejora la biosfera al proteger el aire, el agua, la contaminación del suelo y la eutrofización dando como consecuencia (Singh *et al.*, 2021) el mejoramiento al crecimiento de la planta (Aloo *et al.*, 2022) y rendimiento del cultivo entre un 20% y un 35% con respecto al control y también puede reducir la aplicación de fertilizantes de N, P y K hasta un 60% (Singh *et al.*, 2021).

Entre las bacterias prometedoras como biofertilizantes en la agricultura orgánica y los ecosistemas de agricultura sostenible el PGPR comprende las siguientes especies bacterianas: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* y *Serratia*, que mejoran el crecimiento de las plantas y la producción de rendimiento (Kumar, 2020) *Sinorhizobium meliloti* (Gou *et al.*, 2020).

#### **4.11 *Enterobacter roggkampii***

*E. roggkampii* fue clasificado en honor a Andreas Roggenkamp, un microbiólogo alemán que ayudó a mejorar la estructura filogenética del complejo *E. cloacae* (Sutton *et al.*, 2018) bacteria perteneciente al grupo IV de Hoffmann y al grupo M de Chavda utilizando *hsp60* como gen marcado (Chavda *et al.*, 2016).

El estudio de *Enterobacter roggkampii* confirma la existencia de genes implicados en la tolerancia a diferentes estreses abióticos, principalmente, el choque de frío, el choque de calor, la resistencia a la sequía y resistencia a metales pesados (cobalto, zinc, cadmio, magnesio, cobre, mercurio, plomo y manganeso) (Guo *et al.*, 2020).

Se han confirmado estudios que nos expresan a cerca de sus características como la promoción del crecimiento de la planta en de caña de azúcar (Guo *et al.*, 2021) *Barleria Lupulina* (Kumar y Dubey, 2022), garbanzo verde, garbanzo negro y gandul (Priyadarshini *et al.*, 2021) dando como consecuencia la mejoría de parámetros como la longitud, el peso de raíces y brotes (Kumar y Dubey, 2022) biomasa fresca y seca y no. de hojas (Priyadarshini, *et al.*, 2021) también tiene una buena respuesta a varios estreses (Guo *et al.*, 2020).

#### **4.12 *Stenotrophomona maltophilia***

*Stenotrophomonas maltophilia* es una bacteria gram negativa, aeróbica, no fermentativa y poco común; móviles debido a flagelos polares, catalasa positiva, oxidasa negativa ligeramente más pequeñas (Mukherjee y Roy, 2016) no fermenta la glucosa, sino que la oxida, igual que a la maltosa (de ahí el nombre *maltophilia*) (Cacelín-Garza *et al.*, 2022) es una bacteria que se encuentra en una variedad de hábitats ambientales, incluidos los extremos, aunque en la naturaleza se asocia principalmente con plantas. *S. maltophilia* cumple importantes funciones ecosistémicas en los ciclos del azufre y el nitrógeno, en la degradación de compuestos complejos y contaminantes (An y Berg, 2018)

Posee atributos promotores del crecimiento de las plantas, tanto directos (IAA, solubilización de fosfato) como indirectos (ACC desaminasa, sideróforo) mejorando el crecimiento de las plantas huésped (Aeron *et al.*, 2020) además de secreción de compuestos que inhiben otros patógenos y su degradación de antimicrobianos y contaminantes liberados en los suelos y el agua en el entorno (Brooke, 2021).

La aplicación de esta bacteria resulta útil para el crecimiento de plantas en tierras contaminadas con arsénico en este caso de *Vigna radiata*, mostrando resultados positivos para la producción auxinas y fijación de nitrógeno, aumentando la longitud de los brotes y las raíces tanto en presencia como en ausencia de arsénico (Huda *et al.*, 2022). Adeleke *et al.*, (2022) nos demuestra que en el cultivo de girasol esta bacteria ocasiona la síntesis de fitohormonas, metabolismo de carbohidratos, quorum-sensing, sistema de secreción,

degradación de la lignina y estrés oxidativo y nitrosativo, así mismo, presenta genes de metabolitos secundarios oxidativos y putativos y se puede emplear como agente biocontrol contra fitopatógenos.

#### **4.13 *Rhizobium pusense***

*Rhizobium pusense* es una bacteria no nodulante, Gram negativa, móvil y con forma de bastón que pertenece a la clase Alphaproteobacteria (Badhai *et al.*, 2017), esta bacteria endofítica de la raíz produce sideróforos, ácido indol acético (IAA), amoníaco y ACC desaminasa, solubilizaba eficientemente el fosfato (Chaudhary *et al.*, 2021) origina exopolisacáridos (EPS) (Zhang *et al.*, 2022).

En un estudio *R. pusense* demuestra un crecimiento positivo a niveles de pH entre 5.5 y 9.0 y la temperatura de la leguminosa *Cicer arietinum L* entre 29 °C hasta 38°C. (Ortega-García *et al.*, 2024), en plantas de soya esta bacteria puede inhibir que absorban Cd<sup>+2</sup> del suelo, de este modo promover el crecimiento de las plantas y mejorar la tolerancia de las plantas contra el Cd (Li *et al.*, 2019).

#### **4.14 *Serratia liquefaciens***

*Serratia liquefaciens*, es una bacteria psicrotrofica (Salgado *et al.*, 2020) capaz de formar biopelículas, produce proteasas y lipasas termorresistentes, (Rodrigues *et al.*, 2020) también fija nitrógeno, produce IAA, sideróforos y exopolisacáridos, contenido de clorofila y carotenoides dando como consecuencia un mayor crecimiento en plantas (Samet *et al.*, 2022).

Posee actividad de biocontrol contra *F. oxysporum*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. sclerotiorum* y *R. solani* (Michail *et al.*, 2022).

*Serratia liquefaciens* mejora el crecimiento de las plantas y la tolerancia al estrés salino en ortel maíz, al regular la homeostasis iónica, el potencial redox, el intercambio de gases de las hojas (El-Esawi *et al.*, 2018) además, aumenta el pH y reduce la disponibilidad y acumulación de cadmio soluble en agua (Han *et al.*, 2018).

#### **4.15 *Clavispora lusitaniae***

*Clavispora lusitaniae*, un teleomorfo de *Candida lusitaniae*, es una levadura ascomiceta ambientalmente ubicua sin un nicho ecológico específico conocido. Puede aislarse de diferentes sustratos, como suelos, aguas, plantas y tracto gastrointestinal de muchos animales, incluidos aves, mamíferos y humanos (Favel *et al.*, 2003) los modos de acción

mediante los cuales la levadura ejecuta el antagonismo microbiano incluyen la colonización de heridas, la inhibición de la germinación de esporas y la formación de biopelículas (Pereyra *et al.*, 2022) de igual modo puede actuar como un agente de biocontrol (Díaz *et al.*, 2020).

En un estudio *Clavispora lusitaniae*, mostro actividades extracelulares de  $\alpha$ -amilasa y pululanasa (Dakhmouche *et al.*, 2021), produce algunos bioproductos de valor agregado como etanol a partir de glucosa y celobiosa y xilitol a partir de xilosa (Ochoa *et al.*, 2022).

#### **4.16 Origen del chile jalapeño**

El hemisferio occidental es el lugar de origen de la especie *Capsicum*, eran conocidos y utilizados como alimento desde el año 7500 a.C. Son originarios de Sudamérica y de allí se extendieron a Centroamérica (Srivastava y Mangal, 2019) Los chiles eran un alimento importante para muchas poblaciones indígenas, incluidos los aztecas (Sottosanti, 2023).

A Cristóbal Colon se le confiere la introducción del pimiento en Europa (Srivastava y Mangal, 2019) durante sus viajes tras el descubrimiento de América en el siglo XV (Tripodib y Kumar, 2019). Colón había partido desde España para llegar a la India para traer especias como la pimienta negra a este país, Colón no sólo confundió América con la India, sino que también confundió el chile con pimienta negra (Madala y Nutakki, 2020) después de Europa la especie se extendió pronto a África y Asia (Srivastava y Mangal, 2019) y posteriormente trasladándose por todo el mundo, sufriendo una diversificación adicional en los centros secundarios, lo que resultó en la impresionante variabilidad fenotípica que se puede observar hoy en día (Silvar *et al.*, 2016)

#### **4.17 Identificación y descripción**

Los chiles pertenecen al género *Capsicum* (familia *Solanaceae*) (García-Gaytán *et al.*, 2017) El nombre *Capsicum* se deriva del griego κάπτω (Kapto), que significa “morder”, en el caso de los chiles “la fruta muerde”. El termino mexicano original, chile, proviene de la palabra náhuatl (antes azteca) chili o xilli, y este es el nombre común que todavía se usa en América latina y en muchos países de habla inglesa (DeWitt, 2020).

El género *Capsicum* comprende más de 30 especies (García-Gaytán *et al.*, 2017) con 22 especies silvestres y cinco especies domesticadas (Olatunji y Afolayan, 2019) y estas son *C. annum*, *C. baccatum*, *C. chinenses*, *C. frutescens* y *C. pubescens*. *Capsicum annum*; es la

especie más popular entre las demás especies. Este grupo incluye chiles de una amplia variedad de formas y tamaños con diferentes niveles de color y picante (Ciju, 2021) *C. annum* representa un tercio (31,0%) de la producción nacional (Sánchez-Toledano *et al.*, 2021).

*Capsicum annum* es un arbusto anual que crece entre 0,75 y 1,8 m con muchas ramas en ángulo. El tallo mide entre 20 y 80 cm, erecto y ramificado, las hojas son pecioladas largas, de ovadas a lanceoladas, la parte superior es acuminada (Yuca, 2022) y son lisas, brotan alternativamente a cada uno de sus tallos (Walton, 2018) el color de las hojas varía de verde a verde oscuro (Olatunji y Afolayan, 2019), en la floración la planta produce flores en forma de campana, contienen cinco estambres, (Walton, 2018) tienen color azul o blanco, se observa una flor por nudo (Hernández-Pérez *et al.*, 2020), sus frutos son vainas sin costura con diferentes formas (Walton, 2018) como triangular corto con ápice romo, triangular conápice romo, triangular alargado con ápice romo, triangular con ápice puntudo, moderadamente triangular corto, moderadamente triangular, triangular estrecho, cuerno, curvado, triangular cilíndrico grueso (Basulto y Pérez, 2023) tiene una placenta central a la que se adhieren las numerosas semillas, el fruto madura y adquiere un color verde, amarillo, naranja, rojo, violeta o marrón oscuro (Walton, 2018).

Los chiles jalapeños varían desde dulces hasta suaves y muy picantes. Son de color verde brillante a verde violáceo en la etapa inmadura y maduran a rojo. La piel de la fruta madura de algunas variedades muestra un agrietamiento o “marcado” característico que puede ser un rasgo deseable o no, dependiendo del comprador (Kaiser y Ernst, 2018)

La composición química de *C. annum*. Contiene capsaicinoides; (Yuca, 2022) principalmente consta de capsaicina con (69%), seguida de la dihidrocapsaicina (22%), la nordihidrocapsaicina (7%), la homocapsaicina (1%) y la homodihidrocapsaicina (1%), aproximadamente (Hernández-Pérez *et al.*, 2020), carotenoides (luteína, zeaxantina, capsorrubina,  $\beta$  -caroteno), flavonoides (quercetina, kaempferol, catequina, epicatequina, rutina, luteolina) (Yuca, 2022) compuestos que son encargados de darle el del rojo de las frutas maduras y saponinas esteroides (capsicidina, capsicósido E, F, G) de igual manera está compuesta de ácido ascórbico, aceite fijo y tiamina (Moreb *et al.*, 2020)

Se ha informado que *C. annum* tiene propiedades antioxidantes, antibacterianas, antivirales, antiproliferativas, antiadipogénicas, antimutagénicas, inhibidoras de enzimas,

antiinflamatorias, hepatoprotectoras, antidiabéticas, renoprotectoras, hipocolesterolémicas, antitumorales, antiobesidad, analgésicas, antojos de comida y actividades antirreflujo (Yuca, 2022).

#### **4.18 Importancia económica**

*Capsicum annuum* es una especie muy popular en distintos lugares del mundo desde la antigüedad (Khan, *et al.*, 2014), tiene gran demanda en el mercado ya que es preferido por el público por su sabor, color, aroma y picor (pungencia). Este último está relacionado con la cantidad de capsaicina, la cual es un alcaloide fuerte y estable, es detectable por el paladar humano que resulta en el aumento de la secreción salival y la sensación de calor y ardor en la boca (Gutiérrez *et al.*, 2021) tiene varios compuestos farmacológicamente importantes, como los capsaicinoides y debido a sus carotenoides, se utiliza para colorear jabones, salsas y cosméticos como productos comerciales (Khan *et al.*, 2014).

-**La escala Scoville;** esta escala aplica para los frutos de las plantas del género *Capsicum* ya que su principio es medir la cantidad presente de capsaicina, componente activo de este género, la capsaicina es la responsable de estimular los receptores térmicos de la piel y las membranas mucosas, en especial a cuatro papilas gustativas en la lengua, el chile jalapeño va desde las 2,500 a las 10, 000 unidades en la escala de Scoville (SIAP, 2017)

#### **4.19 Producción mundial y nacional**

A nivel mundial, en el año 2022 China tuvo el primer lugar en producción de chile, con 16,810,519 toneladas, México en segundo lugar, con 3,113,244 toneladas y en tercer lugar Indonesia 3,020,262 toneladas. El cultivo de chile se encuentra dentro de las 10 principales materias primas en México, ocupando el noveno lugar (Faostat, 2022).

A nivel estatal, Sinaloa en 2019 fue el mayor productor de chile en México llegando a producir el 23.4% de la producción seguido de Chihuahua (21%), Zacatecas (13.9%), San Luis Potosí (9.9%) y Sonora (5.94%). Estos 5 estados concentraron el 74.2% de la producción nacional (Intagri, 2020).

El chile jalapeño en promedio se produce más en el ciclo primavera - verano con 69%, mientras que el restante 31% se genera en el otoño invierno (SAGARPA, 2015).

El rendimiento promedio por entidad federativa fue desde las 3.98 hasta las 53.5 ton/ha., (Intagri, 2020).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Ubicación del experimento**

El trabajo se realizó en el Área Agrícola del Departamento de Botánica en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. El experimento fue conducido bajo condiciones de campo abierto con acolchado bicolor plata/negro durante el periodo de marzo- agosto del año 2023.

### **5.2 Localización geográfica del experimento**

El Área agrícola donde se llevó a cabo el experimento se encuentra a una altura de 1,743 msnm, con coordenadas geográficas 25°22'41" de latitud norte y 101°00'00" de longitud oeste (Ramos-Robles *et al.*, 2023). La zona registra una precipitación media anual de 298.5 mm y una temperatura media anual de 19.8° C con una temperatura mínima extrema de hasta -10° C y una máxima temperatura de 35° C.

### **5.3 Preparación del terreno**

Las actividades para el acondicionamiento del terreno comenzaron principalmente por el deshierbe, rastra y surcado con un tractor, posteriormente se realizó la instalación del sistema de riego y finalmente se instaló el acolchado de los surcos en forma manual con el propósito de tener control sobre las malezas y un uso sustentable del agua.

### **5.4 Material biológico**

Se utilizó semillas de la variedad Everman F1 de Chile jalapeño de la casa comercial Harris Moran Seed Company. Previo a la siembra, la semilla fue inoculada con una solución a la concentración establecida de cada una de las cinco rizobacterias de manera individual por un periodo 4 días utilizando cajas Petri de plástico de 9 mm de diámetro. Las semillas utilizadas para el testigo se sumergieron en agua destilada por el mismo periodo de 4 días.

El día 3 de abril se realizó la siembra de las semillas inoculadas a charolas de poliestireno de 200 cavidades, dejando una semilla por cavidad, para la obtención de una mejor producción de plántulas. Como sustrato y con la finalidad del tener una buena aireación, buen drenaje y en consecuencia obtener un mejor desarrollo de las raíces, las charolas fueron llenadas con una mezcla de Turba de sphangnum peat-moss y perlita mineral, en una proporción 1:1, en

seguida, las charolas se cubrieron con plástico color negro, se ingresaron a un invernadero para mejor un control de las condiciones de germinación y desarrollo de las semillas hasta el momento del trasplante.

### 5.5 Tratamientos

Las rizobacterias utilizadas en esta investigación fueron facilitadas por el Dr. Fernando Chávez Díaz, Investigador del Centro Nacional de Referencia Genética (CNRG) a través de una colaboración con el MC. Roberto Reynoso Santos, Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria (INIFAP) Campo Experimental Chiapas. Las rizobacterias utilizadas como tratamientos como se indica en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Relación de rizobacterias utilizadas para el experimento**

Tratamiento	<i>Rizobacteria</i>	Condición
T1	<i>Pseudomonas</i> sp 1	Con solución nutritiva Steiner
T2	<i>Clavispora</i> sp	Con solución nutritiva Steiner
T3	<i>Pseudomonas</i> sp 2	Con solución nutritiva Steiner
T4	<i>Serratia</i> sp	Con solución nutritiva Steiner
T5	<i>Enterobacter</i> sp	Con solución nutritiva Steiner
T6	Testigo	Con solución nutritiva Steiner
T1	<i>Pseudomonas</i> sp 1	Sin solución nutritiva
T2	<i>Clavispora</i> sp	Sin solución nutritiva
T3	<i>Pseudomonas</i> sp 2	Sin solución nutritiva
T4	<i>Serratia</i> sp	Sin solución nutritiva
T5	<i>Enterobacter</i> sp	Sin solución nutritiva
T6	Testigo	Sin solución nutritiva

### 5.6 Diseño experimental

Se utilizó un experimento con un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 2 x 6, donde el primer factor corresponde a la condición de nutrición y el segundo a los tratamientos totales (5 rizobacterias + 1 testigo).

Cada unidad experimental constó de un surco de 3 m de longitud y una separación entre surcos de 0.8 m y entre planta de 0.35 m para un total de 8 plantas por unidad experimental de las cuáles se seleccionaron al azar 3 para la toma de muestreo de parámetros morfológicos de la planta y de calidad de los frutos.

### **5.7 Establecimiento del experimento**

El experimento se estableció en campo el día 20 de mayo del año 2023. El experimento constó de 12 surcos divididos en cuatro bloques, cada bloque con 12 surcos de 3 m de longitud con 8 plantas, para un total de 384 plantas. Para el manejo del experimento de hicieron dos secciones de seis surcos cada uno, una sección con sus cuatro bloques se manejó con solución nutritiva Steiner al 50% y la otra sección se manejó sin solución nutritiva. En ambas secciones se distribuyeron de forma aleatoria las 5 rizobacterias y un testigo, para un arreglo experimental  $2 \times 6$  como se indicó en la sección anterior.

### **5.8 Trasplante**

Se realizó un riego pesado un día anterior para tener el suelo húmedo a saturación y el trasplante fuera más fácil y efectiva la plantación. Posteriormente se etiquetó cada uno de los tratamientos en los cuatro bloques.

Cuando las plantas alcanzaron 15 cm de altura (47 días después de la siembra en charolas), se realizó el trasplante el día 20 de mayo del 2023. Las plántulas se colocaron al centro del surco al distanciamiento establecido.

### **5.9 Manejo del cultivo**

Se aplicó un riego por goteo cada 3 días o cuando el cultivo lo requería. En el caso del experimento con suministro de nutrientes, posterior al trasplante la solución nutritiva se aplicó cada ocho días, mientras que en la sección sin suministro de solución nutritiva se aplicó agua cada tercer día.

Dentro del periodo del cultivo se presentaron plagas como mosquita blanca, pulgón, minador, gusano y trips, para su control se utilizaron insecticidas como: Actram (tiametoxan), Helmofos (clorpirifos etil) y Confidor (Imidacloprid), estos productos se aplicaron con ayuda de una mochila de aspersión de la marca swissmex de 15 L.

## **5.10 Aplicación de tratamientos**

Después del trasplante, las inoculaciones con microorganismos se aplicaron en la base del tallo cada 15 días. En un recipiente se colocaron 2 L de agua destilada y 10 ml de cada bacteria, que se repartieron en cada bloque experimental compuesto por 8 plantas, aplicando 30 ml por planta.

## **5.11 Variables evaluadas**

### **5.11.1 Actividad fotosintética**

Esta variable se ejecutó con la ayuda de un medidor de clorofila SPAD-502 plus Konica Minolta, este aparato mide el contenido de clorofila de una hoja, los resultados se obtuvieron introduciendo una hoja (sin cortarla) dentro del aparato y presionando el cabezal, después de unos segundos el aparato arrojó la lectura en unidades SPAD.

### **5.11.2 Altura de la planta (cm)**

Este parámetro se realizó con la ayuda de un flexómetro. La actividad se realizó midiendo el tallo, desde la base del suelo, estirando la pestaña de la cinta hasta el meristemo apical de la planta.

### **5.11.3 Numero de frutos**

Al momento de la cosecha se registró el número de frutos. Se realizó contando el total de los frutos resultantes de cada una de las plantas por unidad experimental.

### **5.11.4 Peso del fruto**

Con ayuda de una báscula se registró el peso de fruto, para ello, cada fruto se colocó en la plataforma del instrumento, seguidamente se registraron los datos que se reflejan en la pantalla de la báscula.

### **5.11.5 Largo del fruto**

Los datos de esta variable se obtuvieron mediante un calibrador vernier electrónico, la medida se tomó a cada uno de los frutos por planta, las medidas se obtuvieron midiendo desde el ápice hasta el cáliz.

### **5.11.6 Ancho del fruto**

Al igual que el ancho de los frutos, los datos se registraron con ayuda de un calibrador vernier digital tomando el ancho de la parte superior de cada uno de los frutos.

#### **5.11.7 Firmeza del fruto**

Para obtener esta variable se apoyó de un penetrómetro manual de frutas de la marca Force Gauge, que mide la firmeza de los frutos, en la cual los datos se registran en Newtons (N). La firmeza es un parámetro de calidad y que se relaciona con el estado de maduración de los frutos. Los datos se tomaron de 3 puntos diferentes del fruto, sosteniendo la fruta en una mano e insertando la punta del instrumento en la fruta.

#### **5.11.7 Interpretación del (pH)**

El pH, que es el logaritmo negativo (base 10) de la concentración de iones de hidrógeno, el milivoltio se convierte a pH mediante una ecuación (Tyl y Sadler, 2017).

Esta variable se obtuvo con el apoyo de un medidor de pH y E.C de la marca Hanna Instruments, el instrumento se sumergió unos segundos en una muestra compuesta por el fruto y agua destilada, previamente macerado y puesto en un vaso de precipitado, el pH determina la acidez los frutos.

#### **5.11.8 Conductividad eléctrica (C.E)**

Para la obtención de esta variable se utilizó un medidor de pH y C.E Se seleccionaron tres frutos cosechados por planta. Cada fruto se maceró por separado, enseguida fue colocado en un recipiente para luego hundir el instrumento y poder obtener los datos registrado en la pantalla del instrumento.

#### **5.11.9 Potencial de óxido reducción (ORP)**

Para la lectura de esta variable se maceró el fruto acompañado de agua destilada, después la muestra se vació en un vaso de precipitado para poder sumergir el ORP y poder tomar los datos necesarios.

#### **5.11.10 Sólidos solubles totales (°Brix)**

Mediante el refractómetro se obtuvo la lectura de sólidos solubles totales. Para el registro de la variable, de las muestras ya maceradas se tomó una cantidad para poder depositarla en el prisma del aparato. A través del lente se observó el valor que arrojó el instrumento y así poder registrar el contenido de °Brix del fruto.

#### **5.11.11 Acidez titulable**

La acidez titulable, que mide la concentración total de ácido en un alimento, se determina mediante la titulación de ácidos intrínsecos con una base estándar (Tyl y Sadler, 2017).

El procedimiento se comenzó pesando 20 gramos de materia del fruto, se prosiguió a macerarla, se filtró con ayuda de filtros para café, se tomó 10 ml de la muestra y se procedió a colocarlos en un matraz Erlenmeyer, agregando 4 gotas de fenolftaleína, después se comienza a titular con hidróxido de sodio (NaOH) hasta obtener una coloración con tonos rosados. Finalmente, se procedió a registrar el volumen consumido y se repitió este procedimiento 2 veces más con diferentes frutos de la misma planta para obtener 3 datos.

En esta variable se evaluó el % de ácido cítrico de cada uno de los frutos, mediante A.O.A.C. 31.231/84, 942.15/90 adaptado por Bernal (1994, 104).

$$\% \text{ Acido} = \frac{V * N * \text{Meq} * 100}{\text{Alicuota valorada}}$$

Siendo:

- V= Volumen de NaOH gastado en ml.
- N= Normalidad de NaOH
- Meq= Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra:0.064 para ácido cítrico.
- Alícuota valorada= Peso en gramos o volumen de la muestra ml.

#### **5.11.12 Vitamina C**

La determinación de esta variable se llevó a cabo mediante el método de titulación, macerando 20g de la fruta cosechada, a estos se le incorporaron 10 ml de HCl, se procedió a mezclar bien para luego anexarle 100 ml de agua destilada, disolver y después filtrar la muestra en un matraz Erlenmeyer con ayuda de filtro para café, se tomaron 10ml de la muestra el cual se colocó en un matraz diferente.

En una bureta se colocó el reactivo Thielman y se procedió a titular la última muestra que se colocó en el matraz Erlenmeyer, cuando esta muestra cambió de color a rosado se termina la titulación y enseguida se registró el volumen gastado. Para determinar la cantidad de ácido ascórbico presente en el fruto se utilizó la siguiente formula:

$$\frac{mg}{100} \text{ de vitamina C} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

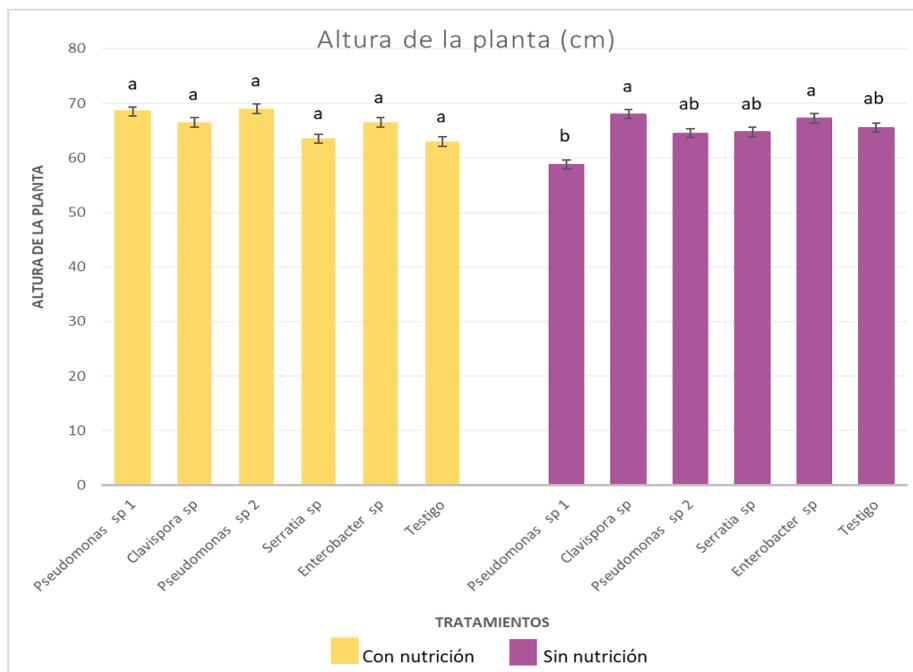
Donde:

- VRT= Volumen gastado en ml del reactivo de Thielmann
- 0.088= Miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de reactivo de Thielmann.
- VT= Volumen total en ml del filtrado de vitamina C en HCL
- VA= Volumen en ml de la alícuota valorada
- P= Peso de muestra en gramos.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Altura de la planta

De acuerdo con el análisis de varianza, en las plantas que se les suministró nutrición, los resultados no demostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). Sin embargo, se observó que el tratamiento inoculado con la bacteria *Pseudomonas sp 1.*, con nutrición Steiner al 50% fue estadísticamente mayor al tratamiento inoculado con la misma bacteria, pero sin nutrición con una diferencia de un 8.73% (Figura 1).

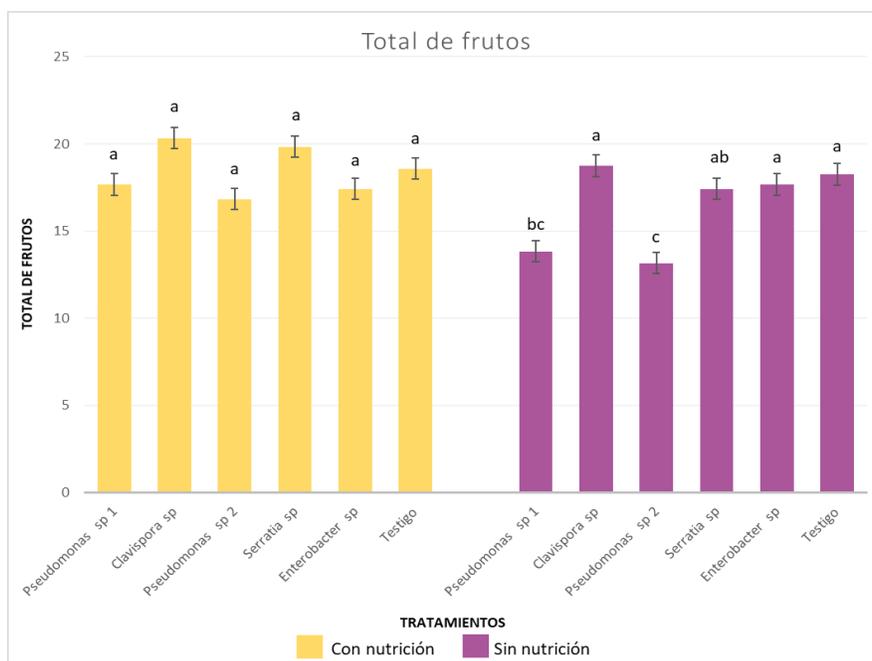


**Figura 1.** Efecto de cinco rizobacterias sobre la firmeza del fruto de chile jalapeño, manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

El aumento de la altura se debe a que las rizobacterias tienen la capacidad de sintetizar hormonas del crecimiento vegetal, principalmente producen una gran cantidad de ácido indol-3-acético (AIA). De acuerdo con Álvarez-García *et al.* (2020) el AIA es una hormona que pertenece al grupo de las auxinas y está enlazada a la prolongación de los tallos (Lana *et al.*, 2017), por lo que la aplicación conjunta de organismos con nutrición vegetal, en este caso de fertilización Steiner que contiene macronutrientes, se promueve a un más el crecimiento vegetal (Tripathi *et al.*, 2014).

## 6.2 Número total de frutos

En la variable número total de frutos, el análisis de varianza demostró que en plantas expuestas a la solución Steiner, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ , figura 2). No obstante, el tratamiento con *Clavispora sp* mostró mayor rendimiento en frutos, con incrementos del 9.42%, en comparación al testigo con fertilización. En contraste, en las plantas que no recibieron nutrición el tratamiento con *Clavispora sp*, seguida de *Enterobacter sp* fueron las que produjeron el mayor número de frutos en comparación con el resto de los tratamientos, incluido el control ( $p \leq 0.05$ ). En general, el análisis estadístico reveló diferencias significativas entre plantas con nutrición y sin nutrición vegetal.



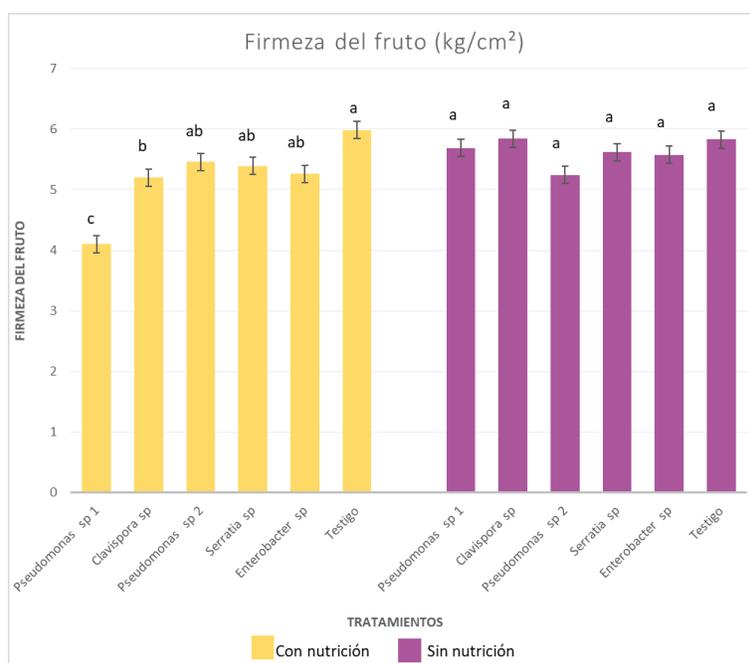
**Figura 2.** Efecto de cinco rizobacterias sobre el número total de frutos de chile jalapeño, manejados con y sin solución nutritiva Steiner. Letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

La solución nutritiva suministrada está compuesta de N, P y Ca, los cuales, son macronutrientes que contribuyen a la productividad de los frutos, sin embargo, no todo el porcentaje de estos fertilizantes químicos se encuentra disponible. La incorporación de los microorganismos como biofertilizantes, poseen la capacidad de determinar la disponibilidad de los nutrientes a las plantas (Chawla y Sadawarti, 2020). La aplicación de fertilización nutritiva más la aplicación de rizobacterias al cultivo de chile jalapeño, incrementan el

rendimiento de los frutos, mediante los procesos de fijación de N, solubilización de P y la disponibilidad de otros elementos (Mohamed *et al.*, 2019).

### 6.3 Firmeza del fruto

Para la variable firmeza del fruto, de acuerdo con el análisis estadístico, se observaron diferencias significativas entre los dos arreglos de fertilización ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 3). Dentro de los tratamientos inoculados con la aplicación de solución Steiner al 50%, se demostró que la bacteria *Pseudomonas sp 1*, registró un valor de 4.1025 N, correspondiente al valor más bajo mientras que el tratamiento testigo con fertilización tuvo 5.985 N siendo el valor superior registrado.



**Figura 3.** Efecto de cinco rizobacterias sobre la firmeza del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

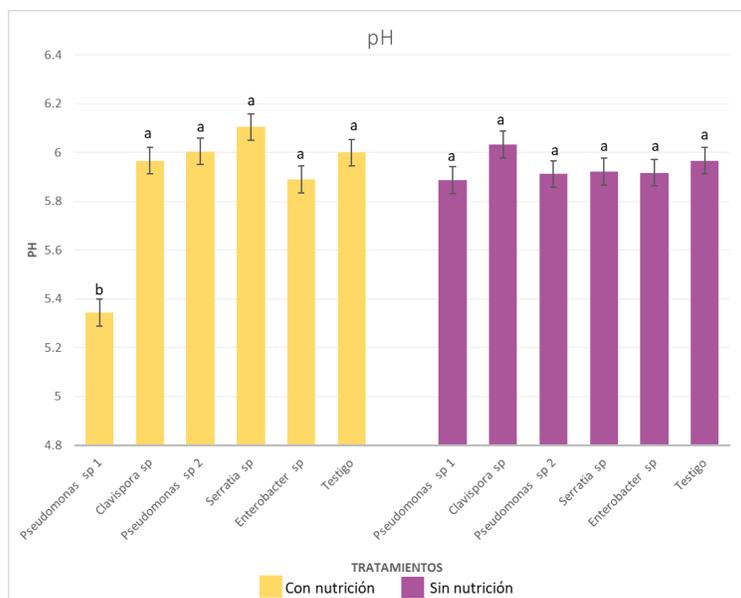
La disminución de firmeza de los frutos de la planta que fue inoculada con la bacteria *pseudomonas sp 1* con fertilización, se le atribuye al etileno, hormona vegetal que especialmente se ha determinado para el crecimiento vegetativo, pero también se emplea como una fitohormona de maduración (Zhang *et al.*, 2020).

La firmeza del fruto es una variable representativa de la calidad de los frutos, demuestra el valor de maduración, cuando la madurez es menor, contiene un nivel de firmeza mayor (Intagri, 2018). Estudios sugieren que cuando el cultivo se acerca a la etapa de maduración, en la planta ocurre una serie de sucesos negativos, los cuales repercuten en la estructura vegetativa y por lo tanto en las características físicas del fruto, en este caso la firmeza (Gavin *et al.*, 2021).

#### 6.4 pH del fruto

En el análisis estadístico demostró que las plantas bajo condiciones con y sin nutrición, los tratamientos no mostraron diferencias significativas en el pH del fruto ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 4). No obstante, a excepción del resto de los tratamientos, los frutos de plantas inoculadas con la bacteria *Pseudomonas sp 1*, mostraron valores más bajos de pH.

En general, aunque no se observaron diferencias estadísticas, el valor más alto de pH en los frutos fue de 6.10, lo cual se obtuvo del tratamiento inoculado con la bacteria *Serratia sp* con fertilización reducida al 50%, con un ligero incremento de 1.75% con respecto al testigo con el mismo manejo.

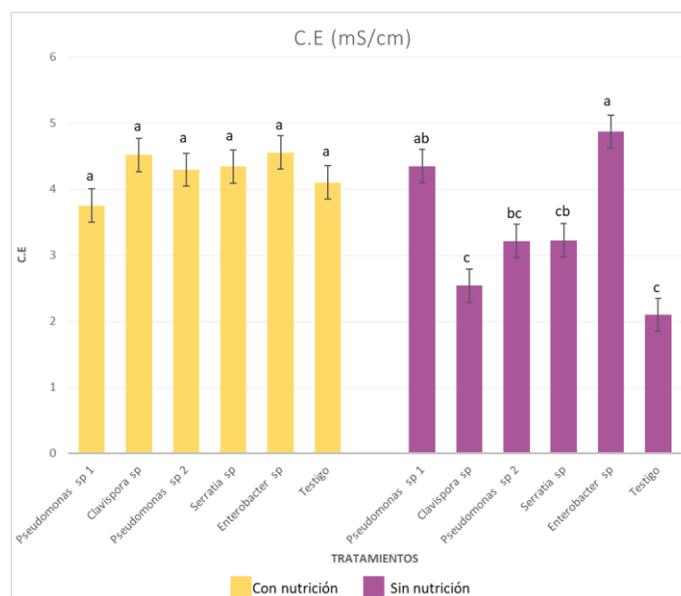


**Figura 4.** Efecto de cinco rizobacterias sobre el pH del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

En los frutos el nivel de pH se estima ácido si el pH se encuentra por debajo de 7, que es el valor neutro, después de este valor el pH de 4.6 tiene el nivel de ácido bajo y los frutos que son altamente ácidos son inferiores a 4.6. (Casabon-Garcín *et al.*, 2018). La disminución del pH en frutos de chile jalapeño que se obtuvieron al aplicar *Pseudomonas sp 1* y la fertilización al 50%, se debe a las propiedades ácidas de los ácidos orgánicos presentes en los frutos de diversas plantas (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010) esto lo pueden confirmar Sánchez *et al.*, (2012), quienes encontraron una reducción de pH al inocular *Pseudomonas sp.* en plantas de tomate.

### 6.5 Conductividad eléctrica

Para esta variable, el análisis estadístico demostró diferencias significativas entre plantas bajo condiciones de solución y sin solución nutritiva ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 5). En los tratamientos que fueron fertilizados con solución nutritiva + microorganismos beneficiosos no se observaron diferencias estadísticas. Sin embargo, las plantas que no fueron fertilizadas mostraron diferencias en valores de C.E. El valor más alto se observó en las plantas que fueron inoculadas con la bacteria *Enterobacter sp* con un promedio de 4.87 mS/cm, que corresponde a un incremento del 132.30% respecto al tratamiento testigo con un valor de 2.09 mS/cm.



**Figura 5.** Efecto de cinco rizobacterias sobre la conductividad eléctrica (C.E) del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

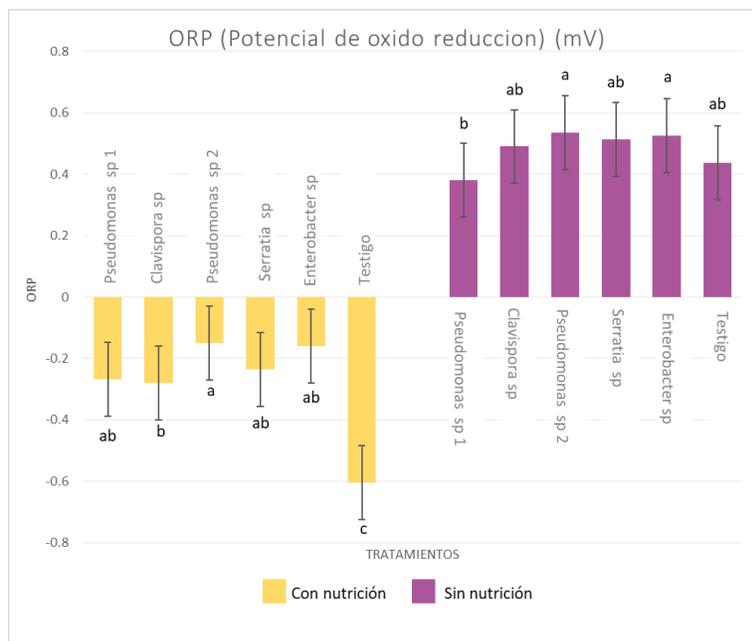
La conductividad eléctrica C.E es la propiedad química de una solución, la cual permite la circulación de la corriente eléctrica con relación a las sales que se encuentran dentro de la solución (Fertilab, 2019).

Los elementos que contienen cargas eléctricas positivas y negativas, en situación libre, son llamados electrolitos (Bustamante *et al.*, 2013), crean iones que cuando entran en contacto con el agua, producen una sustancia que conduce la electricidad, estas sustancias tienen propiedades físicas como tensión superficial, densidad, índice de refracción, viscosidad y principalmente la conductividad eléctrica (Ausín, 2022), los electrolitos más importantes son sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), cloro (Cl<sup>-</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>) y calcio (Ca<sup>++</sup>), (Bustamante *et al.*, 2013).

Los biofertilizantes como las rizobacterias son empleadas para aumentar absorción y disponibilidad de nutrientes como el potasio, magnesio y calcio, y así hacerlos disponibles a las plantas (Luna *et al.*, 2013), incrementando de esta manera, el número de electrólitos, y, por lo tanto, el nivel de conductividad eléctrica.

#### **6.6 Potencial de óxido reducción (ORP)**

De acuerdo con el análisis de varianza, los resultados demostraron diferencias significativas en valores de ORP entre plantas bajo condiciones de fertilización y sin ella ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 6). En plantas bajo condiciones de nutrición al 50%, en plantas nutridas al 50%, el testigo presentó valores negativos más altos de -0.60 mV y el menor valor fue con el tratamiento *Pseudomonas sp 2* con -0.15 mV. Por otra parte, en plantas que no recibieron fertilización todos los tratamientos incluyendo el control arrojaron valores positivos de ORP.



**Figura 6.** Efecto de cinco rizobacterias sobre el potencial de óxido reducción (ORP) del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

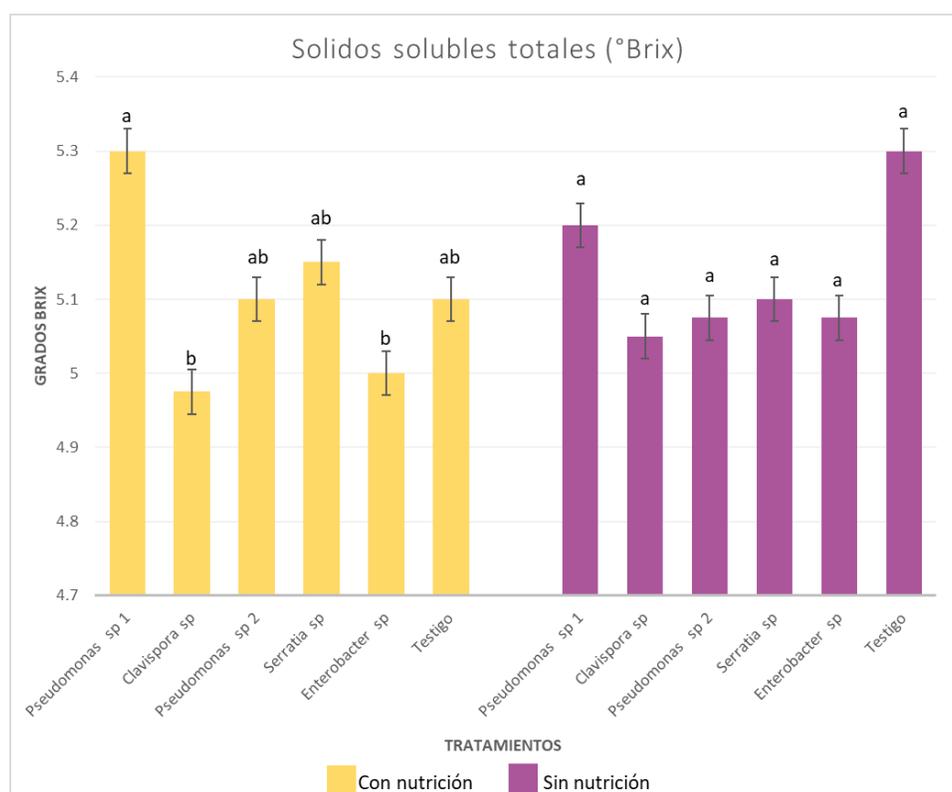
Los antioxidantes son elementos capaces de postergar o minimizar las reacciones de oxidación (Rojano, *et al*, 2009).

Los fertilizantes químicos como el N, P y K pueden tener efectos antioxidantes indirectos dentro de las plantas, estos pueden ser como las vitaminas E y C y los compuestos fenólicos (Chazi, 2005).

### 6.7 Sólidos solubles totales (° Brix)

Los valores brix, son la interpretación de los contenidos de sacarosa dentro de los frutos (Matthew y Natalie, 2015). Investigaciones sugieren que cuando los frutos muestran valores superiores a 4.5 se clasifican como alimentos adecuados, pero si están por debajo de ese valor, se consideran frutos con bajos contenidos de azúcares y en algunos casos las empresas comercializadoras los catalogan como frutos no aprobados para la venta comercial. Por ejemplo, en las solanáceas el valor medio aceptable es de 6 °Brix (Intagri, 2018). Para el presente experimento, de acuerdo con el análisis de varianza, para las plantas bajo condiciones de nutrición Steiner, los resultados demostraron diferencias significativas entre

tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 7). En detalle, el tratamiento inoculado con la bacteria *Pseudomonas sp 1*, produjo frutos con valores de 5.3 grados brix que corresponde a un incremento de 3.92% con respecto a los tratamientos *Clavispora sp* y *Enterobacter sp*. con valores de 4.9 y 5.0 de grados brix, respectivamente. En cuanto a las plantas sin fertilización, los resultados no mostraron diferencias estadísticas ( $\alpha \leq 0.05$ ). Por lo anterior, los frutos producidos por plantas que recibieron la inoculación de bacterias y con solución nutritiva obtienen valores de grados brix aceptables.



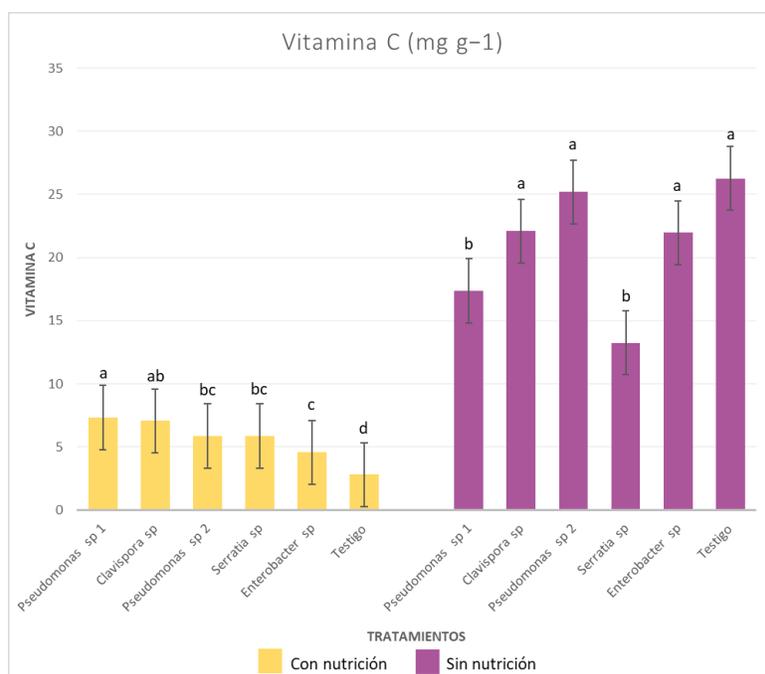
**Figura 7.** Efecto de cinco rizobacterias sobre los sólidos solubles totales del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Las rizobacterias contribuyen en el crecimiento de los cultivos, favorecen en la disponibilidad y solubilización de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, entre otros (Ramos *et al.*, 2022). La literatura menciona que el aumento de los sólidos solubles se debe a la disponibilidad de estos elementos, y que todos intervienen, por ejemplo, el N, P y K son fundamentales para

llevar a cabo los distintos procesos fisiológicos (Martínez *et al.*, 2008). Por ejemplo, intervienen en la formación de carbohidratos, de estos se denominan principalmente los azúcares, y por lo tanto hay un incremento de sólidos solubles en los frutos (Mollinedo y Benavides, 2014). Otros estudios sugieren que el Mg influye en la síntesis de carbohidratos y el B es responsable del traslado de azúcares (Martínez *et al.*, 2008).

### 6.8 Vitamina C

De acuerdo con el análisis de varianza, los resultados demostraron diferencias significativas entre tratamientos. Las diferencias se observaron en las condiciones de nutrición, es decir, los frutos de plantas sin nutrición obtuvieron mayor contenido de vitamina C ( $\alpha \leq 0.05$ , figura 8). En específico, en los frutos de plantas sin nutrición, el tratamiento con *Pseudomonas sp* 2, el valor fue de 25.7 mg/0.1 kg, sin embargo, estadísticamente fue similar al tratamiento testigo con un valor de 26.26 mg/0.1 kg.



**Figura 8.** Efecto de cinco rizobacterias sobre la vitamina C del fruto de chile jalapeño manejados con y sin solución nutritiva Steiner. La letra diferente en cada barra representa diferencias estadísticas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

La vitamina C, se encuentra de dos maneras, en el ácido ascórbico (AA) en estado reducido, y en el ácido deshidroascórbico (DHA) en estado oxidado (Ferrada, 2019). La vitamina C es

un nutriente antioxidante esencial para la producción del líquido intercelular, además, interviene en la síntesis de los neurotransmisores y hormonas (Bastías y Cepero, 2016). Dentro de las plantas, el género *Capsicum* se considera como unos de los principales frutos que contienen altos contenidos de vitamina C, la cual es importante para la alimentación diaria de los humanos (Román, 2015). No obstante, la bioestimulación con bacterias prometen un incremento en el contenido de vitaminas, hormonas y otros minerales y compuestos orgánicos en los frutos (Arcos y Zúñiga, 2016). Estudios reportaron que al inocular rizobacterias como biofertilizante en tomate, aumentaron el contenido de Vitamina C (AA) con respecto al testigo, esto es debido a que el producto que es producido de una manera sustentable tiene una alta concentración de AA, contrario a los frutos producidos de plantas no tratadas con bacterias (González *et al.*, 2018).

## **VII. CONCLUSIONES**

La rizobacterias promovieron algunos parámetros morfológicos de la planta de chile jalapeño como altura de planta y número de frutos, mientras que en los en los parámetros de calidad mejoraron, firmeza, pH, C.E, ORP y Vitamina C. Principalmente, se destaca que las aplicaciones de bacterias sin el suministro de solución nutritiva tuvieron una respuesta positiva en algunos parámetros evaluados como; firmeza, solidos solubles totales y vitamina C. Si bien, la nutrición vegetal determina la calidad de los frutos, la aplicación efectiva de bacterias bioestimula a la planta en la producción de vitaminas, minerales y compuestos orgánicos que comprometen la calidad de los frutos. Para futuros trabajos de investigación, es importante evaluar diferentes concentraciones de inoculación de bacterias y diferentes escenarios de nutrición vegetal.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Adams, GO, Fufeyin, PT, Okoro, SE y Ehinomen, I. (2015). Biorremediación, bioestimulación y bioaumento: una revisión. *Revista Internacional de Biorremediación y Biodegradación Ambiental*, 3 (1), 28-39.
- Adeleke, B. S., Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2022). Effect of endophytic bacterium, *Stenotrophomonas maltophilia* JVB5 on sunflowers. *Plant Protection Science*, 58(3).
- Aeron, A., Dubey, R. C., & Maheshwari, D. K. (2020). Characterization of a plant-growth-promoting non-nodulating endophytic bacterium (*Stenotrophomonas maltophilia*) from the root nodules of *Mucuna utilis* var. *capitata* L. (Safed Kaunch). *Canadian Journal of Microbiology*, 66(11), 670-677.
- Aguilar, JSM (2018). Efecto promotor del crecimiento del desarrollo vegetal de bacterias de suelo del área natural protegida cerro del Culiacán, Guanajuato.
- Ahammed, G. J., Gantait, S., Mitra, M., Yang, Y., & Li, X. (2020). Role of ethylene crosstalk in seed germination and early seedling development: a review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 124-131.
- Ahmad, M., Nadeem, S. M., Naveed, M., & Zahir, Z. A. (2016). Potassium-solubilizing bacteria and their application in agriculture. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*, 293-313.
- Akhtar, S.S., Mekureyaw, M.F., Pandey, C., & Roitsch, T. (2020). Role of cytokinins in plant interactions with microbial pathogens and insect pests. *Frontiers in Plant Science*, 10, 470181.
- Ali, S., Hayat, K., Iqbal, A., & Xie, L. (2020). Implications of abscisic acid in the drought stress tolerance of plants. *Agronomy*, 10(9), 1323.
- Alicia, L. P. A., Escárcega-Bobadilla, M. V., Mondragón-Camarillo, L., Kanashiro, C. H., Varela-Romero, A., Vílchez-Vargas, R., & Calderon, K. (2020). Evaluation of the nitrogen cycle in an agricultural soil disturbed with nickel-salphen and zinc-salphen compounds:

Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y zinc. *Biocencia*, 22(3).

Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., & Mbega, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1002448.

Alvarez, N. S. (2023). Identificación de biomarcadores en la interacción de bacterias benéficas con jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo estrés biótico y abiótico.

Álvarez-García, J. A., Santoyo, G., & del Carmen Rocha-Granados, M. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 01-10.

Amara, U., Khalid, R. y Hayat, R. (2015). Bacterias del suelo y fitohormonas para la producción agrícola sostenible. *Metabolitos bacterianos en un agroecosistema sostenible*, 87-103.

An, S. Q., & Berg, G. (2018). *Stenotrophomonas maltophilia*. *Trends in microbiology*, 26(7), 637-638.

Angel, R., Panhölzl, C., Gabriel, R., Herbold, C., Wanek, W., Richter, A., ... & Wuebken, D. (2018). Application of stable-isotope labelling techniques for the detection of active diazotrophs. *Environmental microbiology*, 20(1), 44-61.

Antonio M. J. AGROMATICA <https://www.agromatica.es/los-grados-brix-en-la-agricultura-moderna/>

Arcos, J., & Zúñiga, D. (2016). Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 20(1), 18-31.

Ausín, D. (2022). Medida de propiedades de electrolitos basados en Líquidos Iónicos para dispositivos electroquímicos.

Azcarate, M. P., Baglioni, M., Brambilla, C., Brambilla, E., Fernandez, R., Kloster, N. S., ... & Savio, M. (2017). Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos.

Badhai, J., Whitman, W. B., & Das, S. K. (2017). Draft genome sequence of *Rhizobium pusense* strain NRCPB10T (LMG 25623T) isolated from rhizosphere soil of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) grown in India. *Genome Announcements*, 5(17), 10-1128.

Barajas, L. N. A. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Ingeciencia*, 2(1), 65-76.

Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Klenk, H. P., ... & van Wezel, G. P. (2016). Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. *Microbiology and molecular biology reviews*, 80(1), 1-43.

Barrera-Cobos, O. A., & Sáenz-Vélez, M. (2016). El aprovechamiento del nitrógeno por la planta con tecnología N-HIB®. *Revista Ingenio*, 12(1), 85-99.

Bastías, J. M., & Cepero, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 81-86.

Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13(3), 1140. a

Basu, S., Kumar, G., Chhabra, S., & Prasad, R. (2021). Role of soil microbes in biogeochemical cycle for enhancing soil fertility. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 149-157). Elsevier. b

Basulto, F. S., & Pérez, R. D. G. (2023). Características de calidad de fruto de chile jalapeño que se solicitan a productores y comercializadores en el Sur de Quintana Roo, México: Jalapeño pepper fruit quality characteristics requested to producers and marketers in Southern Quintana Roo, Mexico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(3), 2179-2190.

Bécquer Granados, C. J. (2022). Las rizobacterias y su contribución a la tolerancia de las plantas a la sequía ya la salinidad. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(2).

Bisht, N., & Chauhan, P. S. (2020). Excessive and disproportionate use of chemicals cause soil contamination and nutritional stress. *Soil contamination-threats and sustainable solutions*, 2020, 1-10.

Brooke, J. S. (2021). Advances in the microbiology of *Stenotrophomonas maltophilia*. *Clinical microbiology reviews*, 34(3), 10-1128.

Bustamante, G., & Cuba Pardo, G. (2013). Electrolitos. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 39, 2017.

Cacelín-Garza, J. R., Cacelín-Miranda, R. S., Cacelín-Miranda, A. R., & Meléndez-Ordóñez, J. A. (2022). Infección por *Stenotrophomonas maltophilia* en un hospital COVID-19. Reporte de dos casos y revisión de la literatura *Stenotrophomonas maltophilia* infection in a COVID-19 hospital. Report of two cases and review of the literature. *Rev Hosp Jua Mex*, 89(4), 189-196.

Çakmakçı, R., Mosber, G., Milton, A.H., Alatürk, F., and Ali, B. (2020). The effect of auxins and auxin-producing bacteria on the growth, yield of essential oils and composition of medicinal and aromatic plants. *Current Microbiology*, 77, 564-577.

Camara, M. C., Vandenberghe, L. P., Rodrigues, C., de Oliveira, J., Faulds, C., Bertrand, E., & Soccol, C. R. (2018). Current advances in gibberellic acid (GA 3) production, patented technologies and potential applications. *Planta*, 248, 1049-1062.

Canseco, L. M. C. V., Díaz, R. O. S., Hidalgo, M. C. L., & Archila, M. A. (2023). Producción y bioactividades de los exopolisacáridos de *Lactiplantibacillus plantarum* BAL-29-ITTG utilizando un diseño experimental Plackett-Burman. *Revista Mesoamericana de Investigación*, 3(3).

Carrasquilla, M. (2021). El microbioma del agroecosistema y su importancia en la agricultura sostenible (Doctoral dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona).

Casanova-Sáez, R., Mateo-Bonmatí, E., & Ljung, K. (2021). Auxin metabolism in plants. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(3), a039867.

Casaubon-Garcín, P., Lamshing-Salinas, P., Isoard-Acosta, F., Lemen-Meyer, S. C., Delgado-Franco, D., & Pérez-Lizaur, A. B. (2018). pH de los alimentos: ¿una herramienta

para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico?. *Revista Mexicana de Pediatría*, 85(3), 89-94.

Castaño, A. M. P., Durango, D. P. M., Polanco-Echeverry, D., & Arias, J. A. C. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 12(2), 161-178.

CDC, 2023. Centro para el control y la prevención de Enfermedades. (17 de septiembre del 2023). Prescripción y uso de antibióticos. <https://www.cdc.gov/antibiotic-use/sp/should-know.html>

Cesa-Luna, C., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Cruz-Enríquez, J. D. L., Castañeda-Antonio, M. D., & Muñoz-Rojas, J. (2020). Importancia de compuestos antimicrobianos producidos por bacterias benéficas en el biocontrol de fitopatógenos. *Acta biol. colomb*, 140-154.

Chandwani, S. and Amaresan, N. (2022). Role of ACC deaminase-producing bacteria for abiotic stress management and sustainable agricultural production. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 22843-22859.

Chaudhary, T., Gera, R., & Shukla, P. (2021). Deciphering the potential of *Rhizobium pusense* MB-17a, a plant growth-promoting root endophyte, and functional annotation of the genes involved in the metabolic pathway. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8,

Chavda, K. D., Chen, L., Fouts, D. E., Sutton, G., Brinkac, L., Jenkins, S. G., ... & Kreiswirth, B. N. (2016). Comprehensive genome analysis of carbapenemase-producing *Enterobacter* spp.: new insights into phylogeny, population structure, and resistance mechanisms. *MBio*, 7(6), 10-1128.

Chawla, R., & Sadawarti, R. K. (2020). Effect of bio-fertilizers and organic manures on growth, yield and fruit quality of fruit crops. *Plant Arch*, 20(1), 3767-3768.

Chazi, C. (2005). Las vitaminas. *La granja*, 4(1), 51-54.

Chen, H., Bullock Jr, DA, Alonso, JM y Stepanova, AN (2021). Luchar o crecer: el papel equilibrador del etileno en las respuestas al estrés abiótico de las plantas. *Plantas*, 11 (1), 33.

a

Chen, K., Li, G. J., Bressan, R. A., Song, C. P., Zhu, J. K., & Zhao, Y. (2020). Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of integrative plant biology*, 62(1), 25-54.

Chen, Y. P., Tsai, C. F., Rekha, P. D., Ghate, S. D., Huang, H. Y., Hsu, Y. H., ... & Young, C. C. (2021). Agricultural management practices influence the soil enzyme activity and bacterial community structure in tea plantations. *Botanical Studies*, 62(1), 8. b

CIAD, 9 de diciembre del 2021. Colaboración de María del Carmen Bermúdez Almada y Angélica Espinosa Plascencia, investigadoras del Laboratorio de Análisis Biológicos de la Coordinación de Ciencia de los Alimentos del CIAD. <https://www.ciad.mx/el-chile-como-parte-de-la-cultura-alimenticia-de-mexico/> Consultado el 24 de Abril del 2024

Ciju, RJ (2021). *Chiles chilenos*. Agrihortico.

CONABIO, 2022. 20 de diciembre del 2022. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gfamilia.html>. Consultado el 08 de febrero del 2024

Correal, G. C. P., Salcedo, L. D. P., Patiño, C. L. C., & Correa, M. F. (2015). Evaluación de la producción de ácidos orgánicos por *Streptomyces* spp. y solubilización de tres fuentes de fósforo por la cepa T3A. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 111-121.

Covarrubias, SA, García Berumen, JA, & Peña Cabriales, JJ (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25 (3), 40-45.

Cruz, D. C. (2019). Nitrógeno: ¿Elemento esencial? Importancia en la Química de los Productos Naturales.

Dakhmouche Djekrif, S., Bennamoun, L., Labbani, F. Z. K., Ait Kaki, A., Nouadri, T., Paus, A., ... & Gillmann, L. (2021). An alkalothermophilic amylopullulanase from the yeast *Clavispora lusitaniae* ABS7: purification, characterization and potential application in laundry detergent. *Catalysts*, 11(12), 1438.

Deka, P., Goswami, G., Das, P., Gautom, T., Chowdhury, N., Boro, R. C., & Barooah, M. (2019). Bacterial exopolysaccharide promotes acid tolerance in *Bacillus amyloliquefaciens* and improves soil aggregation. *Molecular Biology Reports*, *46*, 1079-1091.

DeWitt, D. (2020). Chiles: A global history. University of New Mexico Press.

Díaz, M. A., Pereyra, M. M., Santander, F. F. S., Pérez, M. F., Córdoba, J. M., Alhussein, M., ... & Dib, J. R. (2020). Protection of citrus fruits from postharvest infection with *Penicillium digitatum* and degradation of patulin by biocontrol yeast *Clavispora lusitaniae* 146. *Microorganisms*, *8*(10), 1477.

Díaz, M. D. 2017. Las Hormonas Vegetales en las Plantas. Serie Nutrición Vegetal Núm. 88. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

Du, M., Spalding, E. P., & Gray, W. M. (2020). Rapid auxin-mediated cell expansion. *Annual review of plant biology*, *71*, 379-402.

Egamberdieva, D., Wirth, S. J., Alqarawi, A. A., Abd\_Allah, E. F., & Hashem, A. (2017). Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. *Frontiers in microbiology*, *8*, 278255.

El-Esawi, M. A., Alaraidh, I. A., Alsahli, A. A., Alzahrani, S. M., Ali, H. M., Alayafi, A. A., & Ahmad, M. (2018). *Serratia liquefaciens* KM4 improves salt stress tolerance in maize by regulating redox potential, ion homeostasis, leaf gas exchange and stress-related gene expression. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(11), 3310.

Elías, O., & Valeria, M. (2022). Análisis del microbioma bacteriano de suelos utilizados para el cultivo de caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en Guatemala mediante metagenómica del gen 16S ARN ribosomal y caracterización de las bacterias promotores del crecimiento que se encuentran en ellos.

EPA, 2012. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response EPA 542-F-12-003S. September de 2012. [https://www.epa.gov/sites/default/files/201504/documents/a\\_citizens\\_guide\\_to\\_phytoremediation.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/201504/documents/a_citizens_guide_to_phytoremediation.pdf)

FAO, 2020. Consultado el 08 de febrero del 2024. [¡Está vivo! El suelo es mucho más de lo que piensas | Historias de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1275321/) <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1275321/>

FAOSTAT, 2022. [https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities\\_by\\_country](https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country)

Fatima, F., Ahmad, M. M., Verma, S. R., & Pathak, N. (2022). Relevance of phosphate solubilizing microbes in sustainable crop production: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 9283-9296.

Favel, A., Michel-Nguyen, A., Peyron, F., Martin, C., Thomachot, L., Datry, A., ... & Regli, P. (2003). Colony morphology switching of *Candida lusitanae* and acquisition of multidrug resistance during treatment of a renal infection in a newborn: case report and review of the literature. *Diagnostic microbiology and infectious disease*, 47(1), 331-339.

Fernández-Villacorta, N., Mateos, P. F., & Saati-Santamaría, Z. (2020). Búsqueda de bacterias productoras de antibióticos a partir del culturoma rizosférico. *FarmaJournal*, 5(2), 43–50.

Ferrada Cofré, L. E. (2019). La forma oxidada de vitamina C, ácido deshidroascórbico, regula la necroptosis neuronal durante un periodo de isquemia y reperfusión cerebral.

FERTILAB, 2019 <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-025-La-salinidad-del-suelo-y-su-fertilidad.pdf>

Fichet, L.T. 2017. Biosíntesis de las Fitohormonas y Modo de Acción de los Reguladores de Crecimiento. Serie Nutrición Vegetal Núm. 92. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.

Fierer, N. Abrazar lo desconocido: desentrañar las complejidades del microbioma del suelo. *Nat Rev Microbiol* 15, 579–590 (2017). <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87> Consultado el 08 de febrero del 2024

Filian Berruz, C. N. (2021). *Importancia de las bacterias Gram negativas benéficas en la agricultura* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).

Flores-Álvarez, A. Y., & Sánchez-Minutti, L. 2024. La rizosfera y su mundo microscópico.

- Flores-Maciel, H. A., Cordero-Soto, I. N., Martínez-Herrera, R. E., Ochoa-Martínez, L. A., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2024). Importancia de las bacterias ácido lácticas como productoras de exopolisacáridos. *Revista Agraria*, 21(2), 5-11.
- Flores-Pantoja, L. E., Briseño-Silva, E., Loeza-Lara, P. D., & Jiménez-Mejía, R. (2022). Actividad antifúngica y características de promoción de crecimiento vegetal de *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter* sp. degradadoras de hidrocarburos aisladas de suelo contaminado. *Acta Biológica Colombiana*, 27(3), 366-376.
- Frébortová, J., & Frébort, I. (2021). Biochemical and structural aspects of cytokinin biosynthesis and degradation in bacteria. *Microorganisms*, 9(6), 1314.
- Gao, S., & Chu, C. (2020). Gibberellin metabolism and signaling: targets for improving agronomic performance of crops. *Plant and cell physiology*, 61(11), 1902-1911.
- García-Gaytán, V., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Baca-Castillo, G. A., & García-Morales, S. (2017). The chilhuacle chili (*Capsicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. *International Journal of agronomy*, 2017.
- Gavin, C., Barzallo, D., Vera, H., & Lazo, R. (2021). Revisión bibliográfica: Etileno en poscosecha, tecnologías para su manejo y control. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 163-178.
- Ghosh, D., Gupta, A., & Mohapatra, S. (2019). A comparative analysis of exopolysaccharide and phytohormone secretions by four drought-tolerant rhizobacterial strains and their impact on osmotic-stress mitigation in *Arabidopsis thaliana*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, 1-15.
- Gkizi, D., Lehmann, S., L'Haridon, F., Serrano, M., Paplomatas, EJ, Métraux, JP, et al. (2016). El sistema de señalización inmune innata como regulador de la resistencia a enfermedades y actividad de resistencia sistémica inducida contra *Verticillium dahlia*. *Mol. Interacción de microbios vegetales*. 29, 313–323.
- González Rodríguez, G., Espinosa Palomeque, B., Cano Ríos, P., Moreno Reséndez, A., Leos Escobedo, L., Sánchez Galván, H., & Sáenz Mata, J. (2018). Influencia de rizobacterias en

la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 367-379.

González, C. A. R., Buitrago, J. E., Betancurt, A. D., & Cardenas, R. L. (2017). Actividad antagonista de *Bacillus sp* frente a *Fusarium oxysporum*: un aporte a la agricultura sostenible. *Revista Nova*, 3, 9-19.

Gou, J. Y., Suo, S. Z., Shao, K. Z., Zhao, Q., Yao, D., Li, H. P., ... & Rensing, C. (2020). Biofertilizers with beneficial rhizobacteria improved plant growth and yield in chili (*Capsicum annuum L.*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36, 1-12.

Guo, D. J., Li, D. P., Singh, R. K., Singh, P., Sharma, A., Verma, K. K., ... & Li, Y. R. (2021). Differential protein expression analysis of two sugarcane varieties in response to diazotrophic plant growth-promoting endophyte *Enterobacter roggenkampii* ED5. *Frontiers in Plant Science*, 12, 727741.

Guo, D. J., Singh, R. K., Singh, P., Li, D. P., Sharma, A., Xing, Y. X., ... & Li, Y. R. (2020). Complete genome sequence of *Enterobacter roggenkampii* ED5, a nitrogen fixing plant growth promoting endophytic bacterium with biocontrol and stress tolerance properties, isolated from sugarcane root. *Frontiers in Microbiology*, 11, 580081.

Gupta G, Parihar SS, Ahirwar NK, Snehi SK, Singh V (2015) Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects. a

Gupta, G., S. Singh Parihar, N. Kumar Ahirwar, S. Kumar Snehi, and V. Singh. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Microbiol. Biochem. Technol.* 7: 096-102. b

Gutiérrez, L. A. M., Velasco, V. A. V., & Rincón, S. P. (2021). Determinación de capsaicina y nutrimentos en frutos de *innovación en desarrollo productivo*, 55.

Han, H., Wang, Q., He, L. Y., & Sheng, X. F. (2018). Increased biomass and reduced rapeseed Cd accumulation of oilseed rape in the presence of Cd-immobilizing and polyamine-producing bacteria. *Journal of hazardous materials*, 353, 280-289.

He, J., Xin, P., Ma, X., Chu, J., & Wang, G. (2020). Gibberellin metabolism in flowering plants: an update and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11, 533208.

Hedden, P. (2020). The current status of research on gibberellin biosynthesis. *Plant and Cell Physiology*, 61(11), 1832-1849.

Hernández-García, J., Briones-Moreno, A., & Blázquez, MA (2021, enero). Origen y evolución de la señalización y metabolismo de giberelinas en plantas. En *Seminarios de biología celular y del desarrollo* (Vol. 109, págs. 46-54). Prensa académica.

Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): HAn ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972-2993.

Herrera-Quiterio, A., Toledo-Hernández, E., Aguirre-Noyola, JL, Romero, Y., Ramos, J., Palemón-Alberto, F., & Toribio-Jiménez, J. (2020). Efectos antagónicos y promotores del crecimiento vegetal de bacterias aisladas de relaves mineros en El Fraile, México. *Revista argentina de microbiología*, 52 (3), 231-239.

Huda, N. U., Tanvir, R., Badar, J., Ali, I., & Rehman, Y. (2022). Arsenic-resistant plant growth promoting *Pseudoxanthomonas mexicana* S254 and *Stenotrophomonas maltophilia* S255 isolated from agriculture soil contaminated by industrial effluent. *Sustainability*, 14(17), 10697.

Ilangumaran G y Smith DL (2017) Crecimiento vegetal que promueve las rizobacterias para mejorar el estrés por salinidad: una perspectiva de la biología de sistemas. Frente. *Ciencia vegetal*. 8:1768. doi: 10.3389/fpls.2017.01768.

Imran, M., Shahzad, S. M., Arif, M. S., Yasmeen, T., Ali, B., & Tanveer, A. (2020). Inoculation of potassium solubilizing bacteria with different potassium fertilization sources mediates maize growth and productivity. *Pak. J. Agric. Sci*, 57, 1045-1055.

Intagri, 2017. Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México. 4 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal>

Intagri, 2018. <https://intagri.wordpress.com/2018/02/19/la-calidad-e-inocuidad-en-el-cultivo-de-tomate/>

Intagri, 2019. El Papel del Etileno en la Maduración de Frutos. <https://www.intagri.com/articulos/poscosecha-comercializacion/papel-del-etileno-en-la-maduracion-de-frutos>

Intagri, 2020. Cultivo de Chile en México. Serie Hortalizas, Núm. 21. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p

Ishak, Z., Mohd Iswadi, M. K., Russman Nizam, A. H., Ahmad Kamil, M. J., Ernie Eileen, R. R., Wan Syaidatul, A., & Ainon, H. (2016). Plant growth hormones produced by endophytic *Bacillus subtilis* strain LKM-BK isolated from cocoa. *Malays. Cocoa J*, 9, 127-133.

Jain, S., Jain, S., Wolf, I.T., Lee, J., Tong, Y.W., 2015. A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 52, 142–154.

Joshi, H., Somduttand, C. P., & Mundra, S. L. (2019). Role of effective microorganisms (EM) in sustainable agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 172-181.

Kaiser, C. y Ernst, M. (2018). Pimientos picantes y pimientos dulces especiales. *Centro para la Diversificación de Cultivos, Facultad de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de la Universidad de Kentucky. Disponible en: <http://www.Reino Unido.edu/ccd/sites/www.Reino Unido.educación.CCD/archivos/pimientos picantes.pdf> [Consultado el 9 de febrero de 2019].*

Kalayu, G. (2019). Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, 2019, 1–7.

Kaur, T., Devi, R., Kour, D., Yadav, A., Yadav, A. N., Dikilitas, M., ... & Saxena, A. K. (2021). Plant growth promoting soil microbiomes and their potential implications for agricultural and environmental sustainability. *Biologia*, 76(9), 2687-2709.

Khan, F. A., Mahmood, T., Ali, M., Saeed, A., & Maalik, A. (2014). Pharmacological importance of an ethnobotanical plant: *Capsicum annum* L. *Natural product research*, 28(16), 1267-1274.

Khan, N., & Bano, A. (2019). Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. *PLoS one*, 14(9), e0222302.

Khan, N., Bano, A., Ali, S. y Babar, MA (2020). Interferencia entre fitohormonas de plantas y PGPR bajo estrés biótico y abiótico. *Regulación del crecimiento vegetal*, 90, 189-203.

Khan, Z., Rho, H., Firrincieli, A., Hung, S.H., Luna, V., Masciarelli, O., Kim,SH and Doty, SL (2016). Improved growth and drought tolerance of hybrid poplar after inoculation with endophyte consortia. *Current Plant Biology*, 6, 38–47.

Korasick, D. A., Enders, T. A., & Strader, L. C. (2013). Auxin biosynthesis and storage forms. *Journal of experimental botany*. 64(9), 2541-2555.

Kou, X., Zhao, X., Wu, B., Wang, C., Wu, C., Yang, S., ... y Xue, Z. (2022). Los factores de respuesta a las auxinas son omnipresentes en el crecimiento y desarrollo de las plantas y están involucrados en la interferencia entre las hormonas vegetales: una revisión. *Ciencias Aplicadas*, 12 (3), 1360.

Kramer, J., Özkaya, Ö., & Kümmerli, R. (2020). Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 152-163.

Kumar, N., & Dubey, R. C. (2022). Plant growth-promoting attributes of an endophyte *Enterobacter roggenkampii* BLS02 isolated from *Barleria lupulina* Lindl. *Organic Agriculture*, 12(1), 137-145.

Kumar, Ravi Shankar, et al. Biodegradation of environmental pollutant through pathways engineering and genetically modified organisms approaches. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 2020, p. 137. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=VovyDwAAQBAJ&lpg=PA137&ots=6vyBZbN1>

Lal, S., Ratna, S., Said, O. B., & Kumar, R. (2018). Biosurfactant and exopolysaccharide-assisted rhizobacterial technique for the remediation of heavy metal contaminated soil: An

advancement in metal phytoremediation technology. *Environmental Technology & Innovation*, 10, 243-263.

LANA, U. D. P., RIBEIRO, V., GOMES, E., & OLIVEIRA-PAIVA, C. D. (2017). Seleção em larga escala de bactérias produtoras do hormônio ácido indolacético (AIA), auxina associada à promoção de crescimento em plantas.

Latif, M., Bukhari, S. A. H., Alrajhi, A. A., Alotaibi, F. S., Ahmad, M., Shahzad, A. N., ... & Mattar, M. A. (2022). Inducing drought tolerance in wheat through exopolysaccharide-producing rhizobacteria. *Agronomy*, 12(5), 1140.

Li, S.M., Zheng, H.X., Zhang, X.S., and Sui, N. (2021). Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. *Plant Cell Reports*, 40, 271-282.

Li, Y., Yu, X., Cui, Y., Tu, W., Shen, T., Yan, M., ... & Ma, M. (2019). The potential of cadmium ion-immobilized *Rhizobium pusense* KG2 to prevent soybean root from absorbing cadmium in cadmium-contaminated soil. *Journal of applied microbiology*, 126(3), 919-930.

Lievens, L., Pollier, J., Goossens, A., Beyaert, R., & Staal, J. (2017). Abscisic acid as pathogen effector and immune regulator. *Frontiers in plant science*, 8, 260123.

Lindström, K. y Mousavi, SA (2020). Efectividad de la fijación de nitrógeno en rizobios. *Bioteconología microbiana*, 13 (5), 1314-1335.

López Coria, L. (2022). Desarrollo de una metodología de aislamiento de sideróforos del tipo hidroxámico.

López-Pliego, L., & Castañeda, M. (2022). ¿Cómo las bacterias perciben señales del medio ambiente? *rd-icuap*, 8(23), 131-138.

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.

LUNA, B. E. G. (2022). Pruebas de antibiosis de rizobacterias contra hongos fitopatógenos in vitro.

- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in agronomy*, 162, 31-87.
- Madala, N., & Nutakki, M. K. (2020). Hot pepper-history-health and dietary benefits & production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), 2532-2538.
- Martínez, F. E., Sarmiento, J., Fischer, G., & Jiménez, F. (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 389-398.
- Matthew D. Kleinhenz y Natalie R. Bumgarner, profesores asociados del Departamento de Ciencias Agrícolas y de Horticultura, OSU. Extracto del estudio publicado por The Ohio State University: "Using Brix as an Indicator of Vegetable Quality: An Overview of the Practice; Linking Measured Values to Crop Management.
- Mazzoni-Putman, S. M., Brumos, J., Zhao, C., Alonso, J. M., & Stepanova, A. N. (2021). Auxin interactions with other hormones in plant development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(10), a039990.
- Meena, M., Swapnil, P., Divyanshu, K., Kumar, S., Harish, Tripathi, Y. N., ... & Upadhyay, R. S. (2020). PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives. *Journal of Basic Microbiology*, 60(10), 828-861.
- Mekureyaw, M. F., Pandey, C., Hennessy, R. C., Nicolaisen, M. H., Liu, F., Nybroe, O., & Roitsch, T. (2022). The cytokinin-producing plant beneficial bacterium *Pseudomonas fluorescens* G20-18 primes tomato (*Solanum lycopersicum*) for enhanced drought stress responses. *Journal of Plant Physiology*, 270, 153629.
- Mhatre, PH, Karthik, C., Kadirvelu, K., Divya, KL, Venkatasalam, EP, Srinivasan, S., et al. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): una posible herramienta alternativa para el biocontrol de nematodos. *Biocatal. Agrícola. Biotecnología*. 17, 119-128. doi: 10.1016/j.bcab.2018.11.009

- Michail, G., Reizopoulou, A., & Vagelas, I. (2022). Evaluation of The Biocontrol Efficacy of *Serratia proteamaculans* and *S. liquefaciens* Isolated From Bats Guano Pile From a Subterrestrial Cave (Greece). *Agric. Biol. (Sel'skokhozyaistvennaya Biol.)*, 57, 566-578.
- Mohamed, I., Eid, K. E., Abbas, M. H., Salem, A. A., Ahmed, N., Ali, M., ... & Fang, C. (2019). Use of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae to improve the growth and nutrient utilization of common bean in a soil infected with white rot fungi. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 539-548.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. del R., Rodríguez-Andrade, O., MoralesGarcía, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muñoz-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias , aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 17(2), 24-34.
- Mollinedo Patzi, M. A., & Benavides Calderón, G. L. (2014). Carbohidratos. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 41, 2133.
- Moreb, N., O'Dwyer, C., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Pepper. In *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 223-238). Academic Press.
- Moreno-Conn, L. M., Casallas, M. L., & Barrera, F. M. C. (2021). Solubilización de fosfatos por bacterias del género *Burkholderia* aisladas de oxisoles de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2).
- Muhammad Aslam, M., Waseem, M., Jakada, B. H., Okal, E. J., Lei, Z., Saqib, H. S. A., ... & Zhang, Q. (2022). Mechanisms of abscisic acid-mediated drought stress responses in plants. *International journal of molecular sciences*, 23(3), 1084.
- Mukherjee, P. y Roy, P. (2016). Potencial genómico de *Stenotrophomonas maltophilia* en biorremediación con una evaluación de su papel multifacético en nuestro medio. *Fronteras en microbiología*, 7, 159261.

Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Garcia Costas, A., Geddes, B. A., Kouri, E. D., ... & Peters, J. W. (2016). Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Applied and environmental microbiology*, 82(13), 3698-3710.

Naseem, H., Ahsan, M., Shahid, M. A., & Khan, N. (2018). Exopolysaccharides producing rhizobacteria and their role in plant growth and drought tolerance. *Journal of basic microbiology*, 58(12), 1009-1022.

Natividad-Torres, E. A., Guevara-Aguilar, A., Sánchez, E., Sida-Arreola, J. P., Muñoz-Márquez, E., & Chávez-Mendoza, C. (2021). Effect of the processing on the antioxidant capacity and bioactive compounds content of jalapeno pepper for chipotle and commercial sauces. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1).

Niharika, Singh, N. B., Singh, A., Khare, S., Yadav, V., Bano, C., & Yadav, R. K. (2021). Mitigating strategies of gibberellins in various environmental cues and their crosstalk with other hormonal pathways in plants: a review. *Plant Molecular Biology Reporter*, 39, 34-49.

Ochoa-Chacón, A., Ramos-Valdivia, A. C., Poggi-Varaldo, H. M., Villa-Tanaca, L., Martínez, A., & Ponce-Noyola, T. (2022). Fermentation performance of a Mexican native *Clavispora lusitaniae* strain for xylitol and ethanol production from xylose, glucose and cellobiose. *Enzyme and Microbial Technology*, 160, 110094.

Odoh, C. K. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a bioprotectant bioinoculant for sustainable agrobiolgy. A review. *Int J Adv Res Biol Sci*, 4(5), 123-142.

Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2019). Contributions to the classification of *capsicum annum* l. and *capsicum frutescens* l. in west africa using morphological traits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 135-142.

Orozco-Mosqueda, MDC, Santoyo, G. y Glick, BR (2023). Avances recientes en la modulación por fitohormonas bacterianas del crecimiento de las plantas. *Plantas*, 12 (3), 606.

Ortega-García, M., Ríos-Rocafull, Y., Zelaya-Molina, L., Lara-Aguilera, J., Arteaga-Garibay, R., & Nápoles-García, M. C. (2024). *Rhizobium pusense* associated to chickpea (*Cicer arietinum* L.), in Cuba. *Agronomía Mesoamericana*, 55876-55876.

Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.

Ossa Orozco, S., & Ochoa Zapata, N. J. (2023). Actividad promotora del crecimiento vegetal en la cebolla (*Allium cepa*) como un cultivo hortícola.

Osses Antúnez, V., & Cabeza, R. A. (2021). *Efecto local y sistémico del nitrato sobre la actividad de los nódulos de Medicago truncatula durante la fijación de nitrógeno* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ciencias Agrarias).

Pacheco, F. A., & Carriel, L. A. M. (2020, January). Bacterias degradadoras de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con hidrocarburos. In *Biblioteca Colloquium*.

Pan, L. y Cai, B. (2023). Bacterias solubilizadoras de fosfato: avances en su fisiología, mecanismos moleculares y efectos en la comunidad microbiana. *Microorganismos*, 11 (12), 2904.

Paredes, L. F. A., Lira, A. Y. L., & Olivera, C. A. C. (2022). Recovery of soils contaminated by hydrocarbons using bacterial biomass: Systematic review and meta-analysis.

Paredes-Mendoza, M., & Espinosa-Victoria, D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61-70.

Park, S., Kim, AL, Hong, YK, Shin, JH y Joo, SH (2021). Una cepa bacteriana productora de auxinas altamente eficiente y su efecto sobre el crecimiento de las plantas. *Revista de Ingeniería Genética y Biotecnología*, 19, 1-9.

Passari AK, Mishra VK, Gupta VK, Yadav MK, Saikia R, and Singh BP. 2015. In Vitro and In Vivo Plant Growth Promoting Activities and DNA Fingerprinting of Antagonistic Endophytic Actinomycetes Associates with Medicinal Plants. *PLoS ONE* 10(9): e0139468.

Patel, AK, Singhanian, RR, Albarico, FPJB, Pandey, A., Chen, CW y Dong, CD (2022). Biorremediación de desechos orgánicos y sus perspectivas cambiantes. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 824, 153889.

Patiño Hermoza, O., Robles Castillo, H., & León Mendoza, L. (2021). Biodegradación de petróleo por *Bacillus thuringiensis* como alternativa para la recuperación de suelos agrícolas. *Arnaldoa*, 28(2), 339-348.

Pavlů, J., Novák, J., Koukalová, V., Luklová, M., Brzobohatý, B., & Černý, M. (2018). Cytokinin at the crossroads of abiotic stress signalling pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(8), 2450.

Pereyra, M. M., Garmendia, G., Rossini, C., Meinhardt, F., Vero, S., & Dib, J. R. (2022). Volatile organic compounds of *Clavispora lusitaniae* AgL21 restrain citrus postharvest pathogens. *Biological Control*, 174, 105025.

Pérez-Pérez, R., Hernández Forte, I., Zanabria Álvarez, Y. O., Salcedo Benítez, J. C., Sosadel Castillo, D., & Pérez-Martínez, S. (2021). Caracterización de bacterias solubilizadoras de potasio provenientes del rizoplano de maíz.

Plaza Avellán, I. E., & Intriago Quintana, J. A. (2020). Obtención de bacterias endófitas del tomatillo (*lycopersicum pinpinelifolium* L.) como promotoras de crecimiento vegetal (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).

Priyadarshini, S., Panda, A., & Mishra, B. B. (2021). Plant growth promotion and nifH gene amplification of bacteria isolated from different agro-climatic zones of Odisha. In *Biol Forum* (Vol. 13, pp. 988-996).

Quiroz Rudas, M. A. (2021). Introducción de bacterias rizosféricas en la agricultura para la reducción de fertilizantes químicos: revisión sistemática.

Ramón Alejandro, X. F. (2020). Comportamiento de bacterias y hongos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados.

Ramos Salaza, R. A., Mendoza Villarreal, R., Robledo Torres, V., & Hernández Pérez, A. (2022). Efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en caracteres agronómicos y minerales de *Tagetes erecta*. *Biotecnia*, 24(2), 149-154.5

Ramos-Robles, Michelle & Villarreal-Quintanilla, J.A. & Valdés-Reyna, Jesús. (2023). Jardín Botánico Ing. Gustavo Aguirre Benavides: Espacio de conservación de plantas de zonas áridas del sureste del Desierto Chihuahuense.

Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 49-68.

Restrepo Rodríguez, J. E. (1997). Caracterización del comportamiento en postcosecha de materiales genéticos de guayabo *Psidium guajava* L. y su relación con la elaboración de bocadillo (Bachelor's thesis, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia).

Restrepo-Franco, G. M., Marulanda-Moreno, S., Fe-Pérez, Y. D. L., Díaz-de la Osa, A., Baldani, V. L. D., & Hernández-Rodríguez, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica.

Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M., & Nazir, M. Z. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. *Microbiota and biofertilizers: a sustainable continuum for plant and soil health*, 181-196.

Riddech, N., Ma, Y. N., & Yodpet, B. (2024). Enhancing Growth of Roselle Plants (*Hibiscus sabdariffa* L.) Using a Salt-and Drought-Tolerant Rhizobacteria-Soybean Biofertilizer. *International Journal of Environmental Research*, 18(2), 26.

Rodrigues, A. C., Almeida, F. A. D., Andre, C., Vanetti, M. C. D., Pinto, U. M., Hassimotto, N. M. A., ... & Andrade, N. J. D. (2020). Phenolic extract of *Eugenia uniflora* L. and furanone reduce biofilm formation by *Serratia liquefaciens* and increase its susceptibility to antimicrobials. *Biofouling*, 36(9), 1031-1048.

Roja, A., & Mariana, J. (2020). *Producción de exopolisacáridos a partir de bacterias ácido lácticas utilizando tusa de maíz como fuente de carbono* (Master's thesis).

Rojano, B., Montoya, C. G., Ospina, C. O., Mesa, N. S., Cano, C. M., Arias, M. L., ... & Pérez, Y. L. (2009). Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de

extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8(6), 519-528.

Rojas, J. M., Romero, D. M., Cristales, M. D. R. B., Andrade, O. R., García, Y. E. M., Saenz, Y. S., & Lucio, M. C. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 17(2), 24-34.

Román Arce, M. B. (2015). Componentes antioxidantes en frutos de *Capsicum* spp. En diferentes condiciones de almacenamiento (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).

Romero López, B. E., & González Gutiérrez, G. (2021). Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal por rizobios simbióticos y asimbióticos.

Roychoudhury, A., Paul, S., & Basu, S. (2013). Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress. *Plant cell reports*, 32, 985-1006.

Rua, M. I. V., & Rojas, J. M. L. 2016 Aplicación de enzimas de origen microbiano en la industria del cuero.

Ruiz-Hernández, I. H., Madrigal-Perez, L. A., & González-Hernández, J. C. (2023). *Pseudomonas reptilivora*: un potencial revolucionario para la generación de antibióticos. *Milenaria, Ciencia y arte*, (22), 16-19.

SAGARPA, 2015. Márgenes de comercialización [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71240/MargenesComer\\_ChileJalape\\_o\\_Marzo2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71240/MargenesComer_ChileJalape_o_Marzo2015.pdf) consultado el 22 de mayo del 2023.

Sales da Silva, IG, Gomes de Almeida, FC, Padilha da Rocha e Silva, NM, Casazza, AA, Converti, A. y Asfora Sarubbo, L. (2020). Biorremediación de suelos: descripción general de tecnologías y tendencias. *Energías*, 13 (18), 4664.

Salgado, C. A., Baglinière, F., & Vanetti, M. C. D. (2020). Spoilage potential of a heat-stable lipase produced by *Serratia liquefaciens* isolated from cold raw milk. *Lwt*, 126, 109289.

Samet, M., Ghazala, I., Karray, F., Abid, C., Chiab, N., Nouri-Ellouz, O., ... y Gargouri-Bouزيد, R. (2022). Aislamiento de cepas bacterianas de tés de compost y análisis de sus propiedades PGPR en plantas de papa. *Investigación sobre ciencias ambientales y contaminación*, 29 (50), 75365-75379.

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.

Sánchez Pérez, S. (2022). Efecto de extractos de citro geranio (*Pelargonium graveolens*), fosforillo (*Hamelia patens*), ruda (*Ruta graveolens*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre el crecimiento in vitro de bacterias fitopatógenas del género *Pactobacterium*, *Pseudomanas* y bacterias promotoras de crecimiento del género *Azospirillum* y *Bacillus*.

Sánchez-Toledano, B. I., Gómez, D. M. J. C., Cuevas-Reyes, V., & Salgado-Beltrán, L. (2021). Characterization of the preferences towards jalapeño peppers from the perspective of the Sonoran consumers. *Agro Productividad*, 14(1).

Sansavini S, Costa G, Gucci G, Inglese P, Ramina A, Xiloyannis C, et al. (2019) Principles of modern fruit science-the ultimate textbook: understanding the fundamentals of plant science. ISH. Leuven Belgium. 421.

Santos Chunir, K. M. (2020). *Evaluación de bacterias degradadoras de hidrocarburos aisladas a partir de un contenedor de aceite usado de moto* (Bachelor's thesis).

Sarikhani, M. R., Oustan, S., Ebrahimi, M., & Aliasghar zad, N. (2018). Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *European journal of soil science*, 69(6), 1078-1086.

Sarmah, R., & Sarma, A. K. (2023). Phosphate solubilizing microorganisms: A review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(10), 1306-1315.

Serna-Galvis, E. A., Martínez-Mena, Y. L., Porras, J., & Torres-Palma, R. A. (2022). Antibióticos de alto consumo en Colombia, excreción en orina y presencia en aguas residuales-una revisión bibliográfica. *Ingeniería y competitividad*, 24(1).

- Shahzad, H., Iqbal, M., & Khan, Q. U. (2018). Rheo-chemical characterization of exopolysaccharides produced by plant growth promoting rhizobacteria. *Turkish Journal of Biochemistry*, 43(6), 686-692.
- Sharma, I. (2020). Técnicas de biorremediación de ambientes contaminados: concepto, ventajas, limitaciones y perspectivas. En *Metales traza en el medio ambiente: nuevos enfoques y avances recientes*. IntechAbierto.
- Sharma, V., Kaur, J., & Sharma, S. (2020). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: potencial para la agricultura sostenible. *Bioteología Vegetal*, 20(3), 157-166.
- SIAP, 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | 18 de octubre de 2017. Consultado el 07 de febrero del 2024. <https://www.gob.mx/siap/articulos/escala-scoville-hasta-cuantas-unidades-resiste>.
- Silvar, C., Garcés Claver, A., Mallor Giménez, C., Pomar, F., Rocha, F., & Barata, A. M. (2016). Tracing back the history of pepper (*Capsicum annuum* L.) in the Iberian Peninsula.
- Singh, D., Thapa, S., Geat, N., Mehriya, M. L., & Rajawat, M. V. S. (2021). Biofertilizers: Mechanisms and application. In *Biofertilizers* (pp. 151-166). Woodhead Publishing.
- Soares, E. V. (2022). Perspective on the biotechnological production of bacterial siderophores and their use. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(11), 3985-4004.
- Sottosanti, K. (2023, 21 de diciembre). *Capsicum annuum*. *Enciclopedia Británica*. <https://www.britannica.com/plant/Capsicum-annuum>
- Soumare, A., Diedhiou, A.G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., and Kouisni, L. (2020). Exploitation of biological nitrogen fixation: a path towards sustainable agriculture. *Plants*, 9 (8), 1011.
- Srivastava, A., & Mangal, M. (2019). Capsicum breeding: history and development. *The Capsicum Genome*, 25-55.
- Sun, WENLI, Shahrajabian, MH y Cheng, QI (2021). Fijación de nitrógeno y diazótrofos: una revisión. *ROM. Bioteología. Lett*, 26 (4), 2834-2845.

Sutton, G. G., Brinkac, L. M., Clarke, T. H., & Fouts, D. E. (2018). *Enterobacter hormaechei* subsp. *hoffmannii* subsp. nov., *Enterobacter hormaechei* subsp. *xiangfangensis* comb. nov., *Enterobacter roggenkampii* sp. nov., and *Enterobacter muelleri* is a later heterotypic synonym of *Enterobacter asburiae* based on computational analysis of sequenced *Enterobacter* genomes. *F1000Research*, 7.

Takehara, S., & Ueguchi-Tanaka, M. (2018). Gibberellin. *Plant Structural Biology: Hormonal Regulations*, 83-95.

Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2022). Bacterial siderophores: Classification, biosynthesis, perspectives of use in agriculture. *Plants*, 11(22), 3065.

Torrent, L. M., Salas, S. P., & Avila, O. M. M. (2022). Cosíntesis de exopolisacáridos y polihidroxialcanoato de partir de residuos agroindustriales y fermentación en estado sólido. In *Compostaje: Objetivo de Desarrollo Sostenible* (pp. 178-181). Red Española de Compostaje.

Torres-Torres, E. I., Álvarez-Sánchez, A. R., Reyes-Pérez, J. J., & Pinela, A. G. M. (2022). Respuesta agronómica e incidencia de Mildiu en cultivo de nabo (*Brassica napus* L.) con la inoculación de *Azotobacter* sp y *Azospirillum brasilense*. *Ciencia y Tecnología*, 15(2), 7-12.

Tripathi, D. K., Singh, V. P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., & Dubey, N. K. (2014). Role of macronutrients in plant growth and acclimation: recent advances and future prospective. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes: Volume 2*, 197-216.

Tripodi, P., & Kumar, S. (2019). The Capsicum crop: an introduction. *The capsicum genome*, 1-8.

Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. *Food analysis*, 389-406.

Ullah, S. y Bano, A. (2015). Aislamiento de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal del suelo rizosférico de halófitas y su impacto en el maíz (*Zea mays* L.) bajo salinidad inducida del suelo. *Revista canadiense de microbiología*,

- Vega-Celedón, P., Canchignia Martínez, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37, 33-39.
- Vinent, S. N., Díaz, M. S., Delgado, E. O., Barbosa, H. R., & Ratón, T. O. (2014). Efectos de *Brevibacillus hortelensis* B65 sobre la germinación y el desarrollo de posturas de hortalizas en fase de semillero. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 17-23.
- Walton, S. (2018). *The Devil's Dinner: A Gastronomic and Cultural History of Chili Peppers*. San Martin Press.
- Wang, Y., Liu, L., Yang, J., Duan, Y., Luo, Y., Taherzadeh, MJ, ... y Zhao, Z. (2020). La diversidad de la comunidad microbiana y su función variaron en respuesta al diferente compostaje de residuos agrícolas. *Ciencia del medio ambiente total*, 715, 136983.
- Wołejko, E., Jabłońska-Trypuć, A., Wydro, U., Butarewicz, A. y Łozowicka, B. (2020). La actividad biológica del suelo como indicador de la contaminación del suelo con pesticidas: una revisión. *Ecología de suelos aplicada*, 147, 103356.
- Wu, W., Du, K., Kang, X., and Wei, H. (2021). The various functions of cytokinins in regulating leaf development. *Horticultural Research*, 8.
- Yadav, AN (2022). Microorganismos solubilizantes de fosfato para la sostenibilidad agrícola. *Revista de Biología Aplicada y Biotecnología*, 10 (3), 1-6.
- Yanez-Ocampo, G., Mora-Herrera, ME, Wong-Villarreal, A., De La Paz-Osorio, DM, De La Portilla-Lopez, N., Lugo, J., ... & Del Aguila, P (2020). Las bacterias aisladas del suelo que solubilizan fosfatos promueven el crecimiento de L. *Polish Journal of Microbiology*, 69 (3), 357-365.
- Yu, Y., Gui, Y., Li, Z., Jiang, C., Guo, J., & Niu, D. (2022). Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. *Plants*, 11(3), 386.
- Yuca, H. (2022). *Capsicum annuum* L. En *Nuevos objetivos farmacológicos con hierbas medicinales tradicionales: evidencia científica y clínica* (págs. 95-108). Cham: Editorial Internacional Springer.

Yue, Z., Chen, Y., Hao, Y., Wang, C., Zhang, Z., Chen, C., ... & Sun, Z. (2022). *Bacillus* sp. WR12 alleviates iron deficiency in wheat via enhancing siderophore-and phenol-mediated iron acquisition in roots. *Plant and Soil*, 471(1), 247-260.

Zerrouk, IZ, Rahmoune, B., Auer, S., Rößler, S., Lin, T., Baluska, F., ... y Ludwig-Müller, J. (2020). El crecimiento y la tolerancia al aluminio de las raíces del maíz mediados por *Bacillus toyonensis*, productor de auxinas y citoquininas, requieren el transporte polar de auxinas. *Botánica Ambiental y Experimental*, 176, 104064.

Zhang, B., Zhang, Z., Lyu, X., & Zhao, W. (2022). Structural characterization of a water-soluble and antimicrobial  $\beta$ -glucan secreted by *Rhizobium pusense*. *Journal of bioscience and bioengineering*, 134(4), 318-325.

Zhang, W., Hu, Y., Liu, J., Wang, H., Wei, J., Sun, P., ... & Zheng, H. (2020). Progress of ethylene action mechanism and its application on plant type formation in crops. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(6), 1667-1673.

Zhou, Y., Xiong, Q., Yin, C. C., Ma, B., Chen, S. Y., & Zhang, J. S. (2020). Ethylene biosynthesis, signaling, and crosstalk with other hormones in rice. *Small Methods*, 4(8), 1900278.

Zhu, L., Huang, J., Lu, X., & Zhou, C. (2022). Development of plant systemic resistance by beneficial rhizobacteria: Recognition, initiation, elicitation and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 952397.

Zirkler, D., Peters, A., & Kaupenjohann, M. (2014). Elemental composition of biogas residues: Variability and alteration during anaerobic digestion. *Biomass and bioenergy*, 67, 89-98.