

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



**Efecto de *Pseudomonas paralactis* en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.)  
con diferentes dosis de fertilización**

Por:

**Marco Antonio Soberanes Sánchez**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efecto de *Pseudomonas paractis* en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.)  
con diferentes dosis de fertilización**

**Por:**

Marco Antonio Soberanes Sánchez

**TESIS**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO**

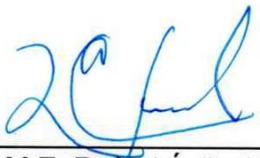
Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gerardo Zapata Sifuentes  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Adlay Reyes Betanzos  
**Vocal suplente**

  
\_\_\_\_\_  
M.E. Rafael Ávila Cisneros  
**Coordinador de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efecto de *Pseudomonas paractis* en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.)  
con diferentes dosis de fertilización**

**Por:**

Marco Antonio Soberanes Sánchez

**TESIS**

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

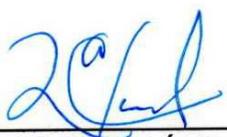
**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobado por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Gerardo Zapata Sifuentes  
**Asesor principal**

  
Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez  
**Coasesor**

  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
**Coasesor**

  
M.E. Rafael Ávila Cisneros  
**Coordinador de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

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

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

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

**A mis padres**, Ezequiel Soberanes Aragón y Laurentina Sánchez González por haberme dado la vida y apoyarme incondicionalmente para obtener un logro tan grande como es el convertirme en profesionista.

**A mis hermanas**, Karen del Rocío Soberanes Sánchez, Yenni Ibeth Soberanes Sánchez y Dania Marisol Soberanes Sánchez por ser parte de mi familia y darme su apoyo incondicional.

**A todos los maestros**, por brindarme su conocimiento, su amistad, y consejos.

## DEDICATORIAS

**A mis padres,** Ezequiel Soberanes Aragón y Laurentina Sánchez González por su confianza y el apoyo que brindaron todo este tiempo.

**A mis hermanas,** Karen del Rocío Soberanes Sánchez, Yenni Ibeth Soberanes Sánchez y Dania Marisol Soberanes Sánchez, a quienes quiero mucho.

**A toda mi familia,** gracias a todos por su consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

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

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIAS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Objetivos</b> .....	2
<b>1.1.1 Objetivo general</b> .....	2
<b>1.1.2 Objetivos particulares</b> .....	2
<b>1.2 Hipótesis</b> .....	2
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1 Generalidades del melón</b> .....	3
<b>2.1.1 Origen</b> .....	3
<b>2.1.2 Distribución geográfica</b> .....	4
<b>2.1.3 Clasificación taxonómica del melón</b> .....	4
<b>2.1.4 Clasificación taxonómica</b> .....	4
<b>2.2 Descripción botánica y morfológica.</b> .....	5
<b>2.2.1 Raíz</b> .....	5
<b>2.2.2 Tallo</b> .....	5
<b>2.2.3 Hojas</b> .....	6
<b>2.2.4 Flor</b> .....	6
<b>2.2.5 Fruto</b> .....	6
<b>2.3 Requerimientos edafoclimáticos</b> .....	7
<b>2.3.1 Clima</b> .....	7
<b>2.3.2 Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo</b> .....	8
<b>2.3.3 Luz</b> .....	8

2.3.4 Suelo.....	9
<b>2.4 Importancia del nitrógeno en la planta.....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Proceso de absorción y utilización del nitrógeno dentro de la planta.....	10
2.4.2 Importancia del nitrógeno en la producción de cultivos.....	10
<b>2.5 Importancia del fósforo en plantas.....</b>	<b>11</b>
2.5.1 Proceso de absorción y utilización del fósforo dentro del planta.....	11
<b>2.6 Importancia económica del melón.....</b>	<b>12</b>
2.6.1 Importancia mundial.....	12
2.6.2 Principales países con la mayor producción de melón.....	12
2.6.3 Países con el mayor rendimiento de melón.....	13
<b>2.7 Importancia económica del melón en México.....</b>	<b>14</b>
2.7.1 Principales productores de melón en México.....	14
<b>2.8 Producción de melón en la Comarca Lagunera.....</b>	<b>15</b>
2.8.1 Municipios productores de melón en la Comarca Lagunera.....	15
<b>2.9 Problemas que enfrenta la producción en la comarca lagunera.....</b>	<b>16</b>
<b>2.10 Alternativas para la mejora de la producción de cultivos en la comarca lagunera.....</b>	<b>17</b>
<b>2.11 Organismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR).....</b>	<b>18</b>
2.11.1 Mecanismos de acción de los PGPR.....	18
2.11.2 Beneficios de los PGPR.....	18
2.11.3 Tipos de PGPR.....	19
2.11.4 <i>Pseudomonas</i> utilizadas como PGPR.....	20
<b>2.12 <i>Pseudomonas paralactis</i>.....</b>	<b>21</b>
2.12.1 Características del hábitat.....	21
2.12.2 Importancia del hábitat.....	22
2.12.3 Importancia de la ubicación de <i>Pseudomonas paralactis</i> .....	22
2.12.4 Descripción de <i>Pseudomonas paralactis</i> .....	22
2.12.5 Fijación de nitrógeno.....	23
2.12.5 Solubilización de fósforo.....	24

2.12.6 <i>Pseudomonas paralactis</i> en la mejora de la resistencia al estrés ambiental .....	25
2.12.7 Regulación del estrés oxidativo por <i>Pseudomonas paralactis</i> .....	26
2.12.8 Cultivos donde se han utilizado <i>Pseudomonas paralactis</i> .....	27
2.12.9 Aplicaciones de <i>Pseudomonas paralactis</i> en la agricultura.....	28
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 Ubicación del área experimental .....	<b>29</b>
3.2 Descripción del experimento .....	<b>29</b>
3.3 Variedad, siembra e inoculación del cultivo .....	<b>30</b>
3.4 Nutrición .....	<b>31</b>
3.5 Labores agronómicas del cultivo .....	<b>31</b>
3.6 Tratamientos.....	<b>32</b>
3.7 Variables evaluadas.....	<b>32</b>
3.7.1 Largo de guía.....	32
3.7.2 Biomasa de planta.....	32
3.7.3 Peso del fruto .....	32
3.7.4 Diámetro ecuatorial del fruto.....	33
3.7.5 Diámetro polar del fruto.....	33
3.7.6 Firmeza.....	33
3.7.7 Sólidos solubles totales (°Brix).....	33
3.7.8 Nitrógeno en planta.....	34
3.7.9 Nitrógeno en suelo.....	34
3.7.10 Fosforo en planta .....	34
3.7.11 Fosforo en suelo .....	34
3.8 Diseño experimental.....	<b>35</b>
3.9 Análisis estadístico .....	<b>35</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1 Largo de guía. ....	<b>35</b>
4.2 Biomasa de planta .....	<b>36</b>

<b>4.3</b>	<b>Peso del fruto .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>Diámetro ecuatorial del fruto.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5</b>	<b>Diámetro polar del fruto.....</b>	<b>38</b>
	<b>.....</b>	<b>39</b>
<b>4.6</b>	<b>Firmeza.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7</b>	<b>Solidos solubles totales (° brix).....</b>	<b>40</b>
<b>4.8</b>	<b>Nitrógeno en suelo .....</b>	<b>40</b>
<b>4.9</b>	<b>Nitrógeno en planta .....</b>	<b>41</b>
<b>4.10</b>	<b>Fosforo en suelo.....</b>	<b>42</b>
<b>4.11</b>	<b>Fosforo en planta.....</b>	<b>43</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo (Casaca, 2005) .....	8
<b>Cuadro 2.</b> Dosis de fósforo y nitrógeno recomendada en el cultivo de melón con base en la meta de rendimiento en la Comarca lagunera. INIFAP, 2024. ....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Principales países con mayor superficie sembrada de melón. (FAOSTAT, 2023).....	12
<b>Figura 2</b> Principales países con la mayor producción de melón (FAOSTAT,2023). .....	13
<b>Figura 3</b> Países con el mayor rendimiento de melón. (FAOSTAT, 2023).....	13
<b>Figura 4</b> Principales productores de melón en México (SIAP, 2023).....	15
<b>Figura 5</b> Municipios productores de melón en la Comarca Lagunera (SIAP, 2023) .....	16
<b>Figura 6</b> Ubicación geográfica del estado de Coahuila, México UAAAN-UL, 2020 .....	29
<b>Figura 7</b> Resultados en la altura de planta de melón inoculadas con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización. ....	36
<b>Figura 8</b> Efecto sobre la biomasa en cultivo de melón inoculadas con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización. ....	36
<b>Figura 9</b> Resultados del peso del fruto en cultivo de melón inoculadas con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.....	37
<b>Figura 10</b> Comportamiento del diámetro ecuatorial del fruto de melón al inocular con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.....	38
<b>Figura 11</b> Efecto sobre el diámetro polar del fruto en cultivo de melón inoculados con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 con diferentes dosis de fertilización. *Letras iguales no presentan diferencias estadísticas, $LSD \leq 0.05$ . ....	39
<b>Figura 12</b> Inoculación al cultivo de melón con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización para el efecto sobre la firmeza....	39
<b>Figura 13</b> Inoculación de <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 en plantas de melón con diferentes dosis de fertilización y el efecto en la concentración de azúcares. ....	40
<b>Figura 14</b> Efecto sobre nitrógeno de suelo en cultivo de melón inoculados con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.....	41
<b>Figura 15</b> Efecto sobre el nitrógeno en planta en cultivo de melón inoculado con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.....	42
<b>Figura 16</b> Efecto sobre el fosforo en suelo en cultivo de melón inoculado con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 con diferentes dosis de fertilización.....	43
<b>Figura 17</b> Efecto sobre el fosforo en planta en cultivo de melón inoculado con <i>Pseudomonas</i> <i>paralactis</i> KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.....	44

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, el cultivo de melón (*Cumis melo* L) fue inoculado con la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* ((KBendop6p7) complementada con diferentes dosis de fertilización (100%, 85% y 70%) y un tratamiento Control (fertilización al 100% sin inoculo), la fertilización fue establecida con base al manejo convencional en la Comarca Lagunera; la inoculación fue a una concentración de  $1 \times 10^8$  Unidades Formadoras de Colonias (UFC). A lo largo de todo el experimento se realizaron 3 inoculaciones, la primera antes de la siembra, la segunda cuando aparecieron las primeras hojas verdaderas y la última cuando se presentaron las primeras flores. El experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN- UL). El manejo del cultivo fue de forma convencional, realizando las mismas prácticas de los productores de melón de la Comarca Lagunera. Las variables que se evaluaron en este experimento fueron largo de guía, biomasa de planta, peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, firmeza, sólidos solubles totales (° brix) , nitrógeno en suelo, nitrógeno en planta, fosforo en suelo y fosforo en planta. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con 4 repeticiones por tratamiento, se realizó la comparación de medias con la prueba LSD ( $p \leq 0.05$ ) con el paquete SAS 9.1. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que en las variables altura de planta, peso del fruto, diámetro ecuatorial, firmeza y sólidos solubles totales (°brix) los tratamientos con inoculación superaron al Control mostrando incrementos destacables. Para las variables biomasa de planta y diámetro polar del fruto no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, para las variables nitrógeno en suelo y planta los tratamientos con inoculación presentaron similitudes con el Control, asimismo para las variables de fosforo en suelo y planta. Sin embargo, hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los resultados obtenidos por *Pseudomonas paralactis* lo catalogan como una alternativa para la mejora de la producción de melón en la Comarca Lagunera debido a su incremento en la productividad y la reducción de costos de producción.

**Palabras clave:** *Cucumis melo* L., *Pseudomonas paralactis*, Inoculación

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de melón (*Cucumis melo* L) es importante a nivel mundial por su valor económico, nutricional y cultural, sin embargo, se enfrenta a varias limitaciones que pueden afectar su productividad y calidad, dichas limitaciones a las que se enfrenta son por condiciones de clima, ya que el melón es muy susceptible a temperaturas extremas, humedad excesiva. Según la Universidad de Nebraska (2018), el cambio climático puede afectar la productividad del melón. Además de este factor limitante también se enfrenta a los problemas de fertilidad y contaminación de suelos, este problema es debido principalmente al mal manejo de pesticidas y uso desmedido de fertilizantes químicos, (Universidad de California, 2019).

Investigaciones se han enfocado en la importancia de microorganismos benéficos del suelo que procuran el desarrollo de las plantas y ayudan a prevenir contagios fitopatógenos lo que favorece la producción agrícola, (Moreno *eat al.*, 2018). El estudio de los microorganismos PGPR (Plant Growth- Promoting Rhizobacteria), se ha volcado como una posible alternativa para reducir las limitaciones a las que se enfrenta la producción de melón en el mundo, dichos microorganismos tienen la capacidad de mejorar la fertilidad de suelo al solubizar y fijar nutrientes. Asimismo, estos microorganismos tienen la capacidad de regular el efecto hormonal dentro de las plantas, gracias a la producción de ciertas hormonas como auxinas y citocininas, asimismo mejoran la tolerancia al estrés mediante la producción de compuestos tales como antioxidantes que ayudan a mitigar los efectos causado por un estrés debido al clima y salinidad, (Universidad de São Paulo, 2017).

Vargas, *eat al.*, 2019 mencionan que la comarca lagunera enfrenta varios problemas ambientales y climáticos que afectan la producción de los cultivos. Por tal motivo, esta investigación tiene como propósito efectuar la evaluación de la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) sobre el desarrollo y absorción y fijación de fosforo y nitrógeno en el cultivo de melón, esto con el fin de postularse como una alternativa para la solución de estos problemas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de las rizobacterias *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) en el cultivo de melón utilizando diferentes dosis de fertilización.

### 1.1.2 Objetivos particulares

- Evaluar el efecto de *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) al reducir las dosis de fertilización en la respuesta productiva en el cultivo de melón.
- Evaluar el efecto de la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) en la absorción y fijación del nitrógeno en suelo y planta.
- Evaluar el efecto de la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) en la absorción y fijación del fósforo en tanto en suelo como en planta.

## 1.2 Hipótesis

*Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7) como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal mejorará la respuesta del cultivo de melón en diferentes dosis de fertilización.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del melón

El melón es conocido bajo el nombre técnico *Cucumis melo L.* es perteneciente a la familia de las cucurbitáceas, esta familia también incluye en su clasificación a cultivos como la sandía, calabaza, cayote y pepino. El melón en italiano se conoce con el nombre de Pepone, mientras que en países como Francia e Inglaterra se le conoce con el nombre de melón, por otra parte, en Alemania lo identifican vulgarmente con el nombre de melone, en la comarca lagunera se le conoce bajo los nombres de melón chino y cantalupe (Martínez, 2012).

El melón es una planta herbácea que crece de forma rastrera y tiene zarcillos, lo que le permite trepar. Las hojas varían en tamaño; son ásperas y más redondeadas que las del pepino. Pueden aparecer tres clases de flores: masculinas, femeninas y hermafroditas. Los melones son los frutos que surgen tras la fertilización de un ovario. A pesar de esto, a menudo se les considera vegetales porque se desarrollan en una planta herbácea y son un complemento en la alimentación humana. Estos frutos son climatéricos, lo que significa que, al madurar, su respiración aumenta, al igual que la producción de etileno. En el caso de los melones reticulados, el uso de etileno en frutos que aún no están maduros no incrementará la cantidad de azúcares ni la calidad del fruto (Martínez, 2012).

#### 2.1.1 Origen

África es visto como el lugar donde comenzaron las especies del género *Cucumis*, que tienen un número cromosómico básico de  $n=12$ . Todas las variedades cultivadas son diploides, y también existen plantas silvestres de *Cucumis melo L.* en la parte oriental de África tropical y en el sur del Sahara. Sin embargo, otros investigadores argumentan que su origen se encuentra en el oeste de Asia, basándose en hallazgos arqueológicos en el valle de Harappa en India, donde se

han encontrado semillas que tienen alrededor de 2,500 a 2,000 años antes de Cristo. A pesar de esto, muchos expertos creen que el origen es africano. Algunos de los primeros lugares donde se domesticó son Turquía, Siria, Irán, Afganistán, India, Turkmenistán, Tayikistán y Uzbekistán, mientras que China, Corea, Portugal y España son considerados centros secundarios de domesticación. En América, se trajo a la región centroamericana en 1516 y a América del Norte después de 1600 (Krístková et al. , 2003).

### **2.1.2 Distribución geográfica**

Al comenzar la era cristiana, el melón era conocido en diversas regiones. Tres siglos después de Cristo, se halló ampliamente distribuido en Italia. Para el siglo XV, ya había sido llevado a muchas naciones europeas. Hoy en día, se cultiva en la mayoría de los países de todos los continentes, aunque su producción se concentra principalmente en áreas con climas cálidos. En el siglo XVIII, se introdujo el melón “cantalupo”; desde entonces, parece haberse extendido a todas las regiones adecuadas en Francia (Marco, 1969).

### **2.1.3 Clasificación taxonómica del melón**

Pitrat *et al.*, (2000) mencionan que el melón (*Cucumis melo L.*), es más polimórfico que otras especies en el género *Cucumis*. Plantea una distribución de las especies en 10 grupos botánicos después de un estudio amplio de las diversas 3 formas. En consecuencia, las especies de *Cucumis melo L.*, fueron subdivididas en dos subespecies: *agrestis* y *melo*. La subespecie *agrestis* se separa en cinco variedades botánicas, mientras que la subespecie *melo* fue clasificada en 11.

### **2.1.4 Clasificación taxonómica**

Izquierdo H. O. (2003), clasifica al melón de la siguiente manera:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliopsida*

Orden: *Violales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Género: *Cucumis L.*

Especie: *Melo L.*

## **2.2 Descripción botánica y morfológica.**

Existe un gran número de especies y de variedades de melón (*Cucumis melo L.*). Lo que hace diferenciarse uno de otra especie o variedad depende principalmente en su forma, el tamaño del fruto, y la textura de su cascara. Sin embargo, se puede decir que generalmente el melón es una planta con porte rastrero, vellosa y de ciclo vegetativo anual (Cano *et al*, 2002).

### **2.2.1 Raíz**

Las raíces secundarias son más extensas que la raíz central, pueden alcanzar hasta 3. 5 metros y tienden a ramificarse mucho. El área dedicada a la exploración y la absorción se encuentra a una profundidad de entre 40 y 50 centímetros (Humphrey, 2017).

### **2.2.2 Tallo**

Fornaris, (2001), menciona que el melón es una planta sumamente poliforme, cuenta con un tallo de puede ser rastrero, pero por la presencia de zarcillos también puede ser una planta trepadora. El tallo es trepador y está cubierto por pelos blancos

y comienza a ramificarse una vez que se ha formado la quinta o sexta hoja verdadera.

### **2.2.3 Hojas**

Las hojas pueden estar divididas en 3 o 5 lóbulos y pueden tener diferentes formas, que van desde redondeadas, reniformes, acorazonadas, triangulares y pentagonales (poco palmeadas y muy palmeadas), además están cubiertas de cabello blanco. Se notó que las hojas presentan diferentes tamaños y formas, pudiendo ser completas, en forma de riñón, de cinco lados o tener entre 3 y 7 lóbulos. Además, tanto las hojas como los tallos pueden tener pelillos, y su tamaño varía según la variedad, con diámetros que oscilan entre 8 y 15 centímetros, (Humphrey, 2017).

### **2.2.4 Flor**

La planta del melón es andromonóica, lo que quiere decir que produce flores del tipo estaminadas, pistiladas y hermafroditas. Las flores masculinas comienzan a aparecer una o dos semanas antes que las flores femeninas, las flores masculinas son mucho más abundantes que las flores femeninas, las flores de melón solo permanecen un día abiertas. Las flores masculinas aparecen primero que las flores hermafroditas y en grupos de 3 a 5 flores en los nudos de las principales guías. Las plantas de melón producen más flores masculinas que femeninas y son de color amarillo, (Oliva *et al.*, 2015).

### **2.2.5 Fruto**

La fruta del melón es sencilla y carnososa se clasifica como pepo, un tipo de fruta modificada de baya que algunos denominan como falsa baya. Se observa con una variación considerable entre las frutas de los diferentes grupos y tipos en cuanto a

su tamaño, forma, textura de la corteza y color. El tamaño de la fruta puede ser muy variada. La forma puede variar de un poco aplastada, a globular, a oblonga, a una cilíndrica sumamente alargada. Puede ser de corteza lisa o arrugada, puede presentar una superficie brillante y uniforme, o una cubierta de una capa corchosa formando una redecilla (más o menos densa). El color externo de la fruta puede variar: crema, crema-verdoso, amarillo pálido a oscuro, amarillo-marrón, amarillo verdoso, o verde. En el caso de los que forman una redecilla corchosa en su corteza, el verdadero color externo se observa en los espacios expuestos entre la redecilla. La pulpa varía en color: blanca, verdosa, anaranjada o amarillo rojiza. Las frutas se ablandan al madurar y en las de algunos de los grupos o tipos de melón se forman esencias aromáticas perfumadas, aunque otras se mantienen casi inodoras (sin olor). Las de algunos tipos de melones se desprenden de la planta al madurar, debido a la formación de una zona de abscisión en la unión de la base del pedúnculo con la fruta (Fornaris, 2001).

## **2.3 Requerimientos edafoclimáticos**

### **2.3.1 Clima**

El melón crece mejor en climas cálidos, especialmente en Centroamérica y el Caribe, aunque hay algunas variedades que pueden vivir en climas más frescos. Este cultivo puede crecer a diferentes altitudes, desde el nivel del mar hasta mil metros por encima de él. Para obtener frutos firmes y sabrosos, es necesario que las temperaturas estén entre 18°C y 25°C. Durante el día, se requieren temperaturas de 25°C y por la noche de 15°C, especialmente un mes antes de que los frutos maduren. Además, se necesita un ambiente con baja humedad y sin lluvia (Sierra, *eat al.*, 2005).

### 2.3.2 Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo

<b>Helada</b>		1°C
<b>Detención de la vegetación</b>	<b>Aire</b>	13-15°C
	<b>Suelo</b>	8-10°C
<b>Germinación</b>	<b>Mínima</b>	15°C
	<b>Óptima</b>	22-28°C
	<b>Máxima</b>	39°C
<b>Floración</b>	<b>Óptima</b>	20-23°C
<b>Desarrollo</b>	<b>Óptima</b>	25-30°C
<b>Maduración del fruto</b>	<b>Mínima</b>	25°C

**Cuadro 1.** Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo (Sierra, *eat al.*, 2005).

### 2.3.3 Luz

La luz solar es el elemento del entorno que más impacta el crecimiento de las plantas. La luz tiene un papel fundamental en el desarrollo y crecimiento, ya que proporciona energía para la fotosíntesis del CO<sub>2</sub>. También es una fuente principal de calor y ayuda a regular el desarrollo. La relación entre la duración de la luz y la temperatura afecta tanto el crecimiento de la planta como la floración, fertilización de las flores y la absorción de nutrientes. El desarrollo de los tejidos en el ovario de

la flor depende mucho de la temperatura y las horas de luz. Por ejemplo, días largos y temperaturas altas favorecen la creación de flores masculinas, mientras que días cortos y temperaturas bajas promueven el desarrollo de flores con ovarios. (Beckles, 2012).

### **2.3.4 Suelo**

La planta de melón no requiere suelos muy especiales, pero alcanza su mejor producción en suelos que tienen mucha materia orgánica, son profundos, están bien drenados, tienen buena circulación de aire y un pH entre 6 y 7. Esta planta necesita un buen drenaje porque el exceso de agua puede causar problemas de raíces y enfermedades en los frutos. Tiene cierta tolerancia a la sal en el suelo (CE de 2,2 dS. m<sup>-1</sup>) y en el agua de riego (CE de 1,5 dS. m<sup>-1</sup>), pero cada aumento de una unidad en la conductividad del suelo reduce la producción en un 7,5%. Es muy sensible a la falta de nutrientes, tanto de elementos menores como mayores (Hartz y Cantwell, 2008).

### **2.4 Importancia del nitrógeno en la planta.**

Según lo que menciona Marschner en (2012), el nitrógeno es un elemento crucial para el crecimiento y la evolución de las plantas. Este elemento es un ingrediente fundamental en las moléculas orgánicas que constituyen las plantas, tales como aminoácidos, proteínas, clorofila y ácidos nucleicos. Algunas de las funciones más relevantes son las siguientes: Crecimiento y desarrollo: el nitrógeno es vital para el crecimiento y la evolución de las plantas, puesto que es un elemento esencial en las proteínas y ácidos nucleicos. Fotosíntesis: el nitrógeno forma parte esencial de la clorofila, la sustancia encargada de la fotosíntesis en las plantas. Síntesis de proteínas: el nitrógeno es un elemento básico en las proteínas, que son claves para la estructura y actividades de las células vegetales. Regulación del metabolismo: el nitrógeno también tiene un papel importante en el control del metabolismo de las

plantas, dado que es parte de las enzimas y hormonas que modulan los procesos metabólicos. Defensa contra patógenos: las proteínas y los compuestos que contienen nitrógeno son fundamentales en la protección de las plantas contra enfermedades; la cantidad de nitrógeno disponible puede influir en la habilidad de las plantas para combatir patógenos.

#### **2.4.1 Proceso de absorción y utilización del nitrógeno dentro de la planta.**

Forde y Lea, (2007), comentan que el nitrógeno se absorbe del suelo en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4$ ), una vez absorbido, el nitrógeno se reduce a amonio y se incorpora a las moléculas orgánicas a través de una serie de reacciones enzimáticas. Absorción de nitrato: las raíces de las plantas absorben el nitrato del suelo a través de transportadores específicos. Reducción de nitrato: el nitrato se reduce a nitrito ( $\text{NO}_2$ ) y luego a amonio ( $\text{NH}_4$ ) a través de la acción de las enzimas nitrato reductasa y nitrito reductasa. La reducción de nitrato ocurre en las hojas y las raíces. Incorporación a moléculas orgánicas: el amonio se incorpora a las moléculas orgánicas, como aminoácidos y proteínas, a través de la acción de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa. Los aminoácidos se utilizan para sintetizar proteínas, que son fundamentales para la estructura y función de las células vegetales. Síntesis de proteínas: las proteínas se sintetizan a partir de aminoácidos en los ribosomas de las células vegetales. Las proteínas desempeñan un papel fundamental en la estructura y función de las células vegetales, incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la defensa contra patógenos

#### **2.4.2 Importancia del nitrógeno en la producción de cultivos.**

El nitrógeno es un factor limitante en la producción de cultivos, ya que su disponibilidad puede afectar la productividad y la calidad de los cultivos. La aplicación de fertilizantes nitrogenados es una práctica común en la agricultura para asegurar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, (Taiz, Zeiger, 2010).

## **2.5 Importancia del fosforo en plantas**

Taiz y Zeiger, (2010) mencionan que el fosforo es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es un componente clave de las moléculas orgánicas que forman parte de las plantas, como ácidos nucleicos, los fosfolípidos y los compuestos de la energía. Las funciones más importantes de este elemento dentro de una planta son las siguientes:

Fotosíntesis y respiración: el fosforo es un componente de los compuestos de alta energía, como el ATP y el NADPH. Síntesis de ácidos nucleicos: el fosforo es un componente de los ácidos nucleicos, como el ADN y el ARN, que son fundamentales para la síntesis de proteínas y transmisión de información genética. Desarrollo de raíces y brotes: el fosforo es esencial para el desarrollo de raíces y brotes, ya que es un componente de las moléculas que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Resistencia en enfermedades: el fosforo puede ayudar a las plantas a resistir enfermedades, ya que es un componente de las moléculas que regulan la respuesta inmune de las plantas.

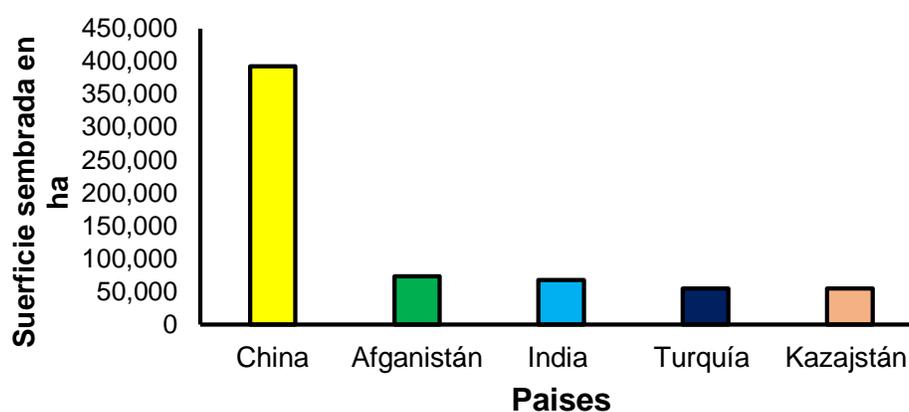
### **2.5.1 Proceso de absorción y utilización del fosforo dentro de la planta.**

Raghothama,(1999) menciona que el fosforo se absorbe del suelo en forma de fosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$  o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Una vez absorbido, el fosforo se incorpora a las moléculas orgánicas a través de una serie de reacciones enzimáticas. Absorción de fosfatos: las raíces de las plantas absorben el fosfato del suelo a través de transportadores específicos. Incorporación de moléculas orgánicas: el fosfato se incorpora a las moléculas orgánicas, como ácidos nucleicos y los fosfolípidos, a través de la acción de enzimas. Síntesis de compuestos de alta energía: el fosforo se utiliza para sintetizar compuestos de alta energía, como el ATP y el NADPH, que son fundamentales para la fotosíntesis.

## 2.6 Importancia económica del melón

### 2.6.1 Importancia mundial

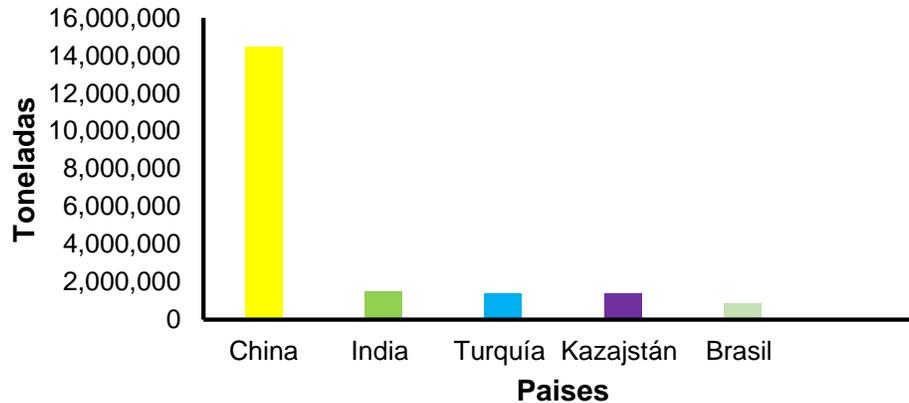
Según la FAO (2023), China es el principal productor de melón con un total de 392,183 hectáreas sembradas, seguido de Afganistán, India, Turquía y Kazajstán, México se posiciono en el lugar 13 a nivel mundial en producción de melón con una superficie sembrada de 19,759 hectáreas.



**Figura 1** Principales países con mayor superficie sembrada de melón. (FAOSTAT, 2023).

### 2.6.2 Principales países con la mayor producción de melón

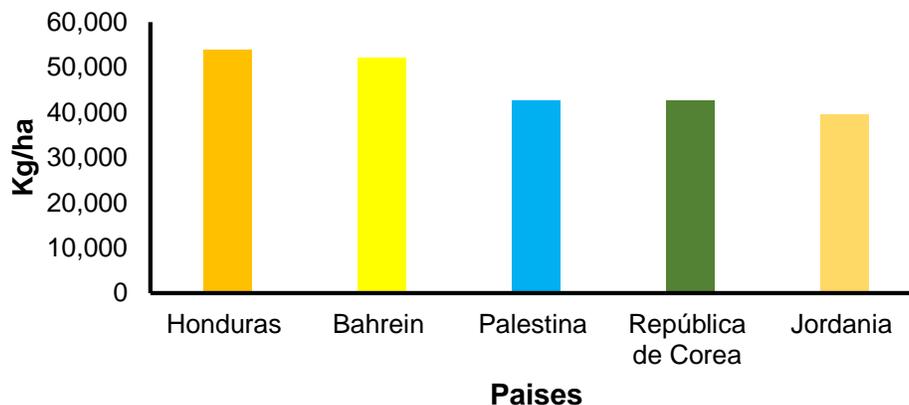
China es el país con mayor producción de melón con un total de 1,454,741.27 toneladas, seguido de India Turquía, Kazajstán, y Brasil, México ocupa el lugar 9 con un total de 648,541 toneladas, (FAO,2023).



**Figura 2** Principales países con la mayor producción de melón (FAOSTAT,2023).

### 2.6.3 Países con el mayor rendimiento de melón.

Honduras es el país con el mayor rendimiento con un total de 53,862.6 kg/ha, esto a pesar de no entrar en el top 5 de los países con mayor superficie sembrada y producción de melón, seguido por países como Bahreín, palestina, republica de corea y Jordania, México se encuentra en el lugar 12 con un rendimiento de 32,821.8 kg/ ha en promedio, (FAO,2023).



**Figura 3** Países con el mayor rendimiento de melón. (FAOSTAT, 2023).

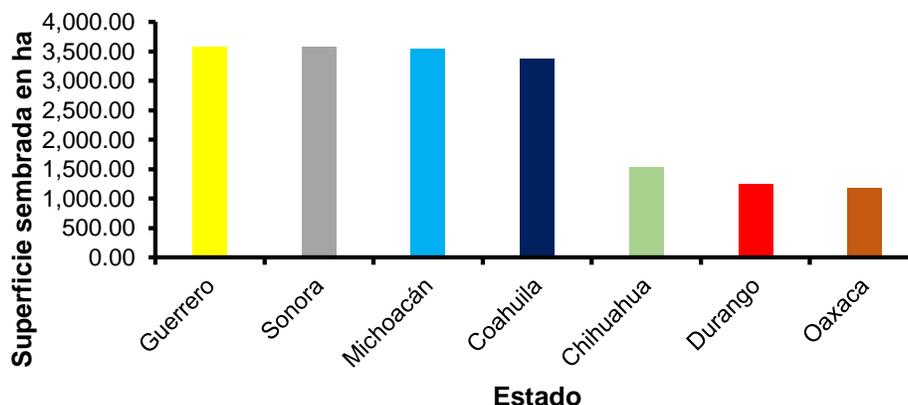
## **2.7 Importancia económica del melón en México**

Según el SADER, 2024, la producción de melón en México tiene una gran importancia económica y social debido a su alta demanda tanto en el mercado nacional como internacional. Algunos puntos clave sobre la importancia económica de la producción de melón en México son los siguientes:

**Producción nacional:** México produjo más de 645,000 toneladas de melón en 2023, lo que representa un aumento del 11.2 % en comparación con 2022. Esto convierte a México el duodécimo productor mundial de melón. **Empleo y divisas:** la producción de melón genera empleos y divisas para el país. La industria del melón es una fuente importante de ingresos para los productores y trabajadores agrícolas. **Mercado internacional:** México exporta melón a varios países, incluyendo estados unidos, Japón, Hong Kong, Cuba, Colombia, Belice, Canadá y Emiratos Árabes unidos. Estados Unidos es el principal mercado de exportación. **Rentabilidad:** la rentabilidad de la producción de melón varía según la época del año y la región. Las siembras tempranas y tardías pueden generar mejores precios, pero también conllevan mayores riesgos climáticos y biológicos.

### **2.7.1 Principales productores de melón en México**

El mayor productor de melón en México es Guerrero ocupando el 1er lugar de la producción con un total de 3,583.27 ha, seguido de estados como Sonora, Michoacán y Coahuila con 3,573 ha, 3,532.16 ha, 3,375.5 ha respectivamente, juntando a estos 4 estados como los principales productores de melón, siendo en su conjunto más del 70% de la producción nacional, seguido de estados como Durango y Oaxaca, (SIAP,2023).



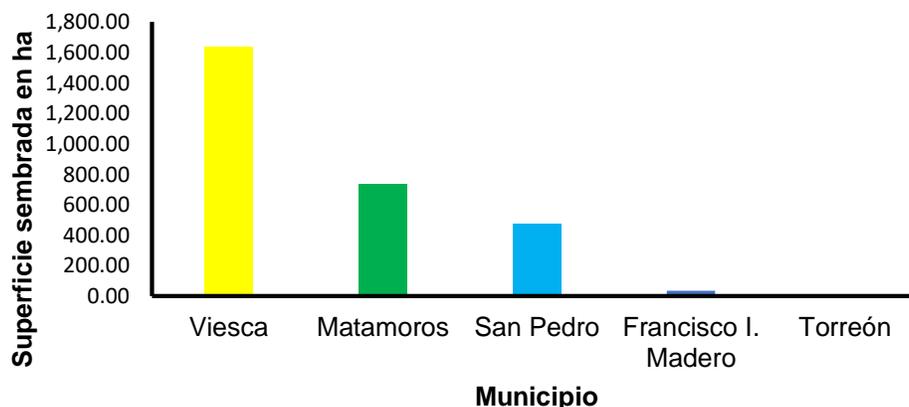
**Figura 4** Principales productores de melón en México (SIAP, 2023)

## 2.8 Producción de melón en la Comarca Lagunera

La producción de melón en la Comarca Lagunera juega un papel importante en la economía de esta región, debido a que es uno de los principales cultivos sembrados, además de que genera empleo a los habitantes, aunado a esto las condiciones climáticas favorecen la producción de melón en esta región, (CienciaUAT, 2019).

### 2.8.1 Municipios productores de melón en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera cuenta con una superficie sembrada de melón de 2,884 ha, de las cuales 1,637 ha son sembradas en el municipio de Viesca, colocándolo en el principal municipio productor de melón de esta región, seguido de Matamoros con 735 ha sembradas, el municipio de San Pedro cuenta con 473 ha de melón sembradas, Francisco I. Madero con 34 ha y Torreón con 5 ha sembradas colocándolos en el 3er, 4to y 5to lugar respectivamente (SIAP,2023).



**Figura 5** Municipios productores de melón en la Comarca Lagunera (SIAP, 2023)

## 2.9 Problemas que enfrenta la producción en la comarca lagunera

Vargas, *eat al.*, (2019) mencionan que la comarca lagunera enfrenta varios problemas ambientales y climáticos que afectan la producción de los cultivos.

Uso intensivo de plaguicidas: el uso excesivo de plaguicidas altamente tóxico en la producción de cultivos hortofrutícolas es uno de los principales problemas que enfrenta la producción en esta zona. Condiciones climáticas: la comarca lagunera tiene un clima árido con escasas lluvias, lo que puede afectar la productividad de los cultivos y la disponibilidad de agua para riego. Degradación del suelo: el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes puede contaminar el suelo y agua afectando la biodiversidad, además de que el mal manejo de los suelos agrícolas ha traído problemas graves de fertilidad, asimismo la falta de MO se ha vuelto un problema para la producción de cultivos. Calidad del agua: el agua subterránea utilizada para riego en esta región tiene altos niveles de salinidad, sodificación y dureza, lo que puede afectar negativamente la productividad de los cultivos y la salud del suelo. La conductividad eléctrica del agua varía de alta a muy alta, con valores entre 1732 y 3386  $\mu\text{s/cm}$ , (Azpilicueta, 2017).

Asimismo, el índice de absorción de sodio es medio, lo que puede afectar la permeabilidad del suelo y causar problemas de infiltración. Además, la contaminación química del agua de riego es un problema, debido a la presencia de metales pesados como cadmio, plomo, y arsénico, que superan los límites máximos permisibles según las normas oficiales mexicanas, (Azpilicueta, 2017).

## **2.10 Alternativas para la mejora de la producción de cultivos en la comarca lagunera**

Uso eficiente del agua para riego: la implementación de sistemas de riego por goteo o microaspersión, son una buena opción para reducir la pérdida de agua y aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Manejo integrado de plagas: implementar prácticas de manejo integrado de plagas, que combinen métodos químicos, biológicos y culturales para reducir el uso de plaguicidas y minimizar el impacto ambiental ha sido una buena tendencia para reducir los problemas por el uso inadecuado de pesticidas. Uso de variedades resistentes: al utilizar variedades resistentes a enfermedades ayuda a reducir la dependencia de plaguicidas, asimismo ayuda a mejorar la productividad, Prácticas de conservación de suelo: implementar esas prácticas de conservación de suelo tales como la rotación de cultivos, la cobertura vegetal y la reducción de la labranza para mejorar la salud del suelo y reducir la erosión. Uso de organismos para la mejora de la estructura y fertilidad el suelo: el uso de organismos para la mejora de fertilidad, así como para la biorremediación de suelos contaminados cada vez toma mayor importancia, esto debido a su importante función que desarrollan en el suelo, además de que el uso de estos organismos tales como bacterias y hongos, no solo ayudan a la conservación del suelo y aporte de nutrientes, sino que también mejoran de manera significativa la producción de cultivos, aumentando con ello su calidad y rendimiento, (Vargas, *et al*, 2019).

## **2.11 Organismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR)**

Los organismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), son microorganismos tales como bacterias u hongos que viven en la rizosfera, es decir; toda la zona del suelo que rodea las raíces de las plantas, y promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de diversos mecanismos. Son utilizados como una alternativa para la producción de cultivos y tienen un enfoque en la agricultura sostenible, (Kloepper, 1978).

### **2.11.1 Mecanismos de acción de los PGPR**

Fijación de nitrógeno: algunos PGPR pueden fijar nitrógeno atmosférico, lo que convierte en una forma más utilizable este elemento para las plantas. Solubilización de fosfatos: algunos PGPR, pueden solubilizar fosfatos inorgánicos, en una forma más asimilable para las plantas. Producción de fitohormonas: algunos microorganismos PGPR tienen la capacidad de producir fitohormonas tales como auxinas y citocininas, que regulan algunos procesos fisiológicos dentro de las plantas. Control de patógenos: los PGPR, pueden controlar algunos patógenos como hongos y bacterias que atacan a las plantas, esto debido a la producción de antibióticos o por la competencia de recursos. Mejora en la absorción de nutrientes: pueden mejorar la absorción de nutrientes por las plantas a través de la producción de sideróforos o mejorar la absorción de nutrientes debido a la solubilización de nutrientes, (Bashan & Holguin, 1998)

### **2.11.2 Beneficios de los PGPR**

Mejora del crecimiento y desarrollo de las plantas: los PGPR pueden promover el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de fitohormonas. Incremento en la productividad: los PGPR pueden incrementar la productividad de las plantas al

mejorar su crecimiento y desarrollo. Reducción del uso de fertilizantes químicos: los PGPR pueden reducir la necesidad de fertilizantes químicos al proporcionar nutrientes a la planta de manera natural. Mejora la salud de las plantas: los PGPR pueden mejorar la salud de las plantas al controlar patógenos del suelo tales como bacterias y hongos, además promueve la resistencia a enfermedades, (Vessey,2003).

#### Aplicaciones de los PGPR

Agricultura sostenible: son utilizados en la agricultura sostenible para reducir considerablemente el uso de fertilizantes químicos y promover la salud de las plantas. Rehabilitación de suelos: se utilizan para rehabilitar suelos degradados y mejorar la fertilidad, esto debido a la solubilización de algunos nutrientes. Biorremediación: se utilizan para biorremediar suelos contaminados con metales pesados u otros contaminantes, (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

### 2.11.3 Tipos de PGPR

#### Hongos

Los hongos pueden ser utilizados como promotores de crecimiento vegetal (PGPR) debido a sus capacidades para:

- Solubilización de fosfatos
- Producción de fitohormonas
- Control de patógenos
- Mejora la absorción de nutrientes

#### Principales hongos utilizados como PGPR

*Trichoderma*: este hongo es conocido por su capacidad para controlar patógenos del suelo y promover el crecimiento vegetal.

*Glomus*: este hongo forma micorrizas arbusculares que pueden mejorar la absorción de nutrientes por las plantas.

*Piriformospora indica*: este hongo puede promover el crecimiento vegetal y mejorar la resistencia a patógenos, (Smith & Read, 2008).

## Bacterias

Las bacterias suelen ser utilizadas como promotores del crecimiento vegetal debido a sus capacidades para:

- Fijación de nitrógeno
- Solubilización de fosfatos
- Producción de fitohormonas
- Control de patógenos
- Mejora de la absorción de nutrientes

## Principales bacterias utilizadas como PGPR

*Genero Rhizobia*: estas bacterias forman nódulos en las raíces de la leguminosa y fijan nitrógeno atmosférico.

*Pseudomonas*: algunas especies de pseudomonas pueden producir fitohormonas y controlar patógenos del suelo.

*Bacillus*: algunas especies de bacillus pueden producir antibióticos y mejorar la resistencia de las plantas a los patógenos, (Hirsch, 1992).

### **2.11.4 *Pseudomonas* utilizadas como PGPR**

Las *Pseudomonas* son un género de bacterias que pueden ser utilizadas como promotores del crecimiento vegetal, tienen la capacidad de producir fitohormonas tales como auxinas y citocininas, también tienen la capacidad de controlar patógenos, a su vez pueden solubilizar fósforo y mejorar la absorción de nutrientes.

#### Especies de *Pseudomonas* utilizadas como PGPR

*Pseudomonas fluorescens*: esta especie es conocida por su capacidad para controlar patógenos del suelo y promover el crecimiento vegetal.

*Pseudomonas putida*: esta especie es conocida por su capacidad para solubizar fosfatos y producir fitohormonas.

*Pseudomonas aeruginosa*: esta especie es conocida por su capacidad para producir antibióticos y controlar patógenos del suelo.

*Pseudomonas paralactis*: es una especie que ha sido estudiada por sus beneficios en la agricultura, uno de los beneficios que tiene es la capacidad para promover el crecimiento vegetal, así como la fijación y solubilización de nutrientes, (Kloepper, 1978).

## **2.12 *Pseudomonas paralactis***

Esta bacteria ha sido aislada de diversas fuentes incluyendo principalmente. Suelo: *Pseudomonas paralactis* se encuentra comúnmente en suelos de diferentes tipos y condiciones incluyendo suelos agrícolas y forestales. Rizosfera: la rizosfera es la zona del suelo que rodea las raíces de las plantas, donde puede interactuar con las raíces y promover el crecimiento vegetal. Plantas: *Pseudomonas paralactis* se ha encontrado en diferentes partes de plantas, incluyendo tallos, raíces y hojas. Ambientes acuáticos: *Pseudomonas paralactis* también se ha encontrado en ambientes acuáticos, como ríos, lagos y estanques. Además de los lugares ya mencionados donde se puede encontrar *Pseudomonas paralactis* se han hecho hallazgos en alimentos derivados de la leche, (Whitelaw, 2000).

### **2.12.1 Características del hábitat.**

Diversidad de entornos: *Pseudomonas paralactis* se encuentra en una diversa variedad de entornos, desde suelos y planta hasta ambientes acuáticos. Condiciones variables: el hábitat de *Pseudomonas paralactis* puede variar en términos de temperatura, pH, humedad y disponibilidad de nutrientes. Interacción con otros microorganismos: *Pseudomonas paralactis* interactúa con otros

microorganismos en su hábitat, lo que puede influir en su supervivencia y función, (Kloepper, 1978).

### **2.12.2 Importancia del hábitat**

Supervivencia y crecimiento: el hábitat de *Pseudomonas paralactis* es crucial para su supervivencia y crecimiento. Función ecológica: *Pseudomonas paralactis* desempeña un papel importante en la descomposición y la ciclación de nutrientes en su hábitat.

### **2.12.3 Importancia de la ubicación de *Pseudomonas paralactis***

Diversidad genética: la ubicación de *Pseudomonas paralactis* en diferentes partes del mundo y en diferentes ecosistemas puede contribuir a la diversidad genética de esta especie. Adaptabilidad: la capacidad de *Pseudomonas paralactis* para adaptarse a diferentes entornos y ecosistemas es crucial para su supervivencia y función. Aplicaciones biotecnológicas: el conocimiento de la ubicación y distribución de *Pseudomonas paralactis* puede ser útil para el desarrollo de aplicaciones biotecnológicas, como la biorremediación y la promoción del crecimiento vegetal, (Whipps, 2001).

### **2.12.4 Descripción de *Pseudomonas paralactis***

Es una bacteria gram negativa, aerobia y móvil que pertenece al género de las pseudomonas, ha sido utilizada en la agricultura debido a sus propiedades beneficiosas para las plantas y el suelo, esta bacteria es conocida por su capacidad para: Degradar compuestos orgánicos: la bacteria puede descomponer una variedad inmensa de compuestos orgánicos, incluyendo hidrocarburos y pesticidas. Producir pigmentos: *Pseudomonas paralactis* puede producir pigmentos como la pirazina, que tiene propiedades antimicrobianas. Interactuar con otras bacterias: la

bacteria puede formar biofilms e interactuar con otras bacterias, lo que puede influir en su comportamiento y virulencia. Control de plagas y enfermedades: la especie *paralactis* tiene la capacidad de controlar plagas y enfermedades, esto lo hace mediante dos mecanismos; antagonismo y producción de antibióticos, en el antagonismo *Pseudomonas paralactis* puede competir con otros microorganismos patógenos por los recursos tales como el espacio, reduciendo la presencia de plagas y enfermedades en las plantas. Mediante la producción de antibiótico, *Pseudomonas paralactis* producen antibióticos que inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos. *Pseudomonas paralactis* también son conocidas por su capacidad de promover el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, algunas de ellas auxinas, citocininas y giberelinas, además de que mejoran la absorción de nutrientes, fijan nitrógeno y solubilizan fosforo, (Whipps, 2001).

#### **2.12.5 Fijación de nitrógeno**

Según Postgate, (1982) menciona que *Pseudomonas paralactis* tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, este proceso lo llevan a cabo mediante los siguientes mecanismos: Enzimas nitrogenasa: *Pseudomonas paralactis* produce la enzima nitrogenasa, que es la responsable de la fijación de nitrógeno, la nitrogenasa reduce el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a amoníaco ( $NH_3$ ), que es la forma más utilizable para las plantas. Para la fijación de nitrógeno deben de existir ciertas condiciones ambientales tales como: Presencia de oxígeno: *Pseudomonas paralactis* requiere oxígeno para fijar nitrógeno. Temperatura: la temperatura óptima para la fijación de nitrógeno se sitúa entre 20- 30 c. pH: el pH óptimo para la fijación de nitrógeno es entre 6-8.

Beneficios de la fijación de nitrógeno. Reducción del uso de fertilizantes: la fijación de nitrógeno por *Pseudomonas paralactis* puede reducir considerablemente el uso de fertilizantes ya que se lo proporciona a la planta de manera natural. Mejora de la calidad del suelo: la fijación de nitrógeno puede mejorar la calidad del suelo,

reduciendo la presencia de contaminantes y mejorando la estructura y fertilidad del suelo. Incremento de la productividad: la fijación de nitrógeno puede incrementar la productividad de las plantas, ya que el nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, (Postgate, 1982).

### **2.12.5 Solubilización de fósforo.**

Whitelaw, (2000) menciona que las *Pseudomonas paralactis* tienen la capacidad de solubilizar fósforo inorgánico, convirtiéndolo en una forma utilizable para las plantas. Los mecanismos de acción para la solubilización de fósforo son los siguientes: Producción de ácidos orgánicos: las *Pseudomonas paralactis* producen ácidos orgánicos como el ácido glucónico, ácido cítrico y ácido oxálico. Complejación del fósforo: los ácidos orgánicos producidos por las bacterias se unen al fósforo inorgánico, formando complejos que son más solubles en agua. Solubilización de fósforo: los complejos formados entre los ácidos orgánicos y el fósforo inorgánico se solubilizan en agua, liberando el fósforo en una forma más asimilable para las plantas. Enzimas involucradas en la solubilización de fósforo. Gluconato deshidrogenasa: esta enzima cataliza la conversión del gluconato en ácido glucónico, que es un ácido orgánico que se une al fósforo inorgánico para formar complejos más solubles. Citrato sintasa: esta enzima cataliza la conversión del acetil-CoA y el oxalacetato en citrato, que es un ácido orgánico que junto con el fósforo inorgánico se unen para formar complejos más solubles fáciles de asimilar por las plantas.

Los factores que influyen en la solubilización de fósforo son los siguientes pH: el pH óptimo para la solubilización de fósforo por *Pseudomonas paralactis* es entre 6.5 y 7.5. Temperatura: la temperatura óptima para la solubilización de fósforo por *Pseudomonas paralactis* es de entre 25- 30 °C. Presencia de nutrientes: la presencia de nutrientes como el nitrógeno y el potasio pueden influir en la solubilización de fósforo por *Pseudomonas paralactis* (Whitelaw, 2000).

### **2.12.6 *Pseudomonas paralactis* en la mejora de la resistencia al estrés ambiental**

Whipps, (2001), menciona que las *Pseudomonas paralactis* puede actuar en la planta para volverla más resistente a estrés ambiental a través de varios mecanismos: Producción de fitohormonas: *Pseudomonas paralactis* pueden producir fitohormonas como auxinas y citocininas, que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas a responder al estrés ambiental. Producción de compuestos antimicrobianos: *Pseudomonas paralactis* pueden producir compuestos antimicrobianos que pueden ayudar a controlar patógenos y reducir el estrés causado por enfermedades Activación de genes de defensa: *Pseudomonas paralactis* pueden activar genes de defensa en la planta, lo que puede ayudar a la planta a responder a estrés ambiental y patógenos.

Algunos genes que pueden ser activados en las plantas por *Pseudomonas paralactis* incluyen: Genes de defensa: *pseudomonas paralactis* pueden activar genes de defensa en la planta, como los genes que codifican para proteínas de defensa, como las proteínas PR (Pathogenesis- Related). Genes de respuesta al estrés: *Pseudomonas paralactis* pueden activar genes que responden al estrés ambiental, como los genes que codifican para proteínas de choque térmico (HSP) y proteínas de respuesta al estrés oxidativo. Genes de regulación hormonal: *Pseudomonas paralactis* pueden activar genes que regulan la producción de hormonas vegetales, como el ácido abscísico, el etileno, y el ácido salicílico, que juega un papel importante al estrés ambiental. Genes de absorción de nutrientes: *Pseudomonas paralactis* pueden activar genes que mejoran la absorción de nutrientes por la planta, lo que puede ayudar a reducir el estrés nutricional.

Genes específicos que ayudan a reducir el estrés ambiental. Genes de la vía de señalización del ácido salicílico: *Pseudomonas paralactis* puede activar genes que codifican para proteínas involucradas en la vía de señalización de ácido salicílico, como NPR1 (Nonexpressor of Pathogenesis- Related Genes 1). Genes de la vía de señalización del ácido abscísico: las *Pseudomonas paralactis* activan genes que involucran proteínas en la vía de señalización del ácido abscísico, como ABI1 (ABA-

Insensitive 1). Genes de proteínas de defensa: *Pseudomonas paralactis* pueden activar genes que codifican para proteínas de defensa como las proteínas PR-1 y PR-2.

#### Mecanismos de activación

Señalización hormonal: *Pseudomonas paralactis* pueden activar vías de señalización hormonal en la planta, lo que puede llevar a la activación de genes específicos. Interacción con factores de transcripción: pueden interactuar con factores de transcripción en la planta, lo que puede llevar a cabo la activación de genes específicos. Regulación epigenética: *Pseudomonas paralactis* pueden influir en la regulación epigenética de genes en la planta, lo que puede llevar a cambios en la expresión génica, (Frankenberger & Arshad,1995).

#### **2.12.7 Regulación del estrés oxidativo por *Pseudomonas paralactis***

*Pseudomonas paralactis* pueden regular el estrés oxidativo en las plantas a través de varios mecanismos: Producción de antioxidantes: *Pseudomonas paralactis* puede producir antioxidantes, como enzimas antioxidantes (catalasa, superóxido dismutasa, etc.) y compuestos antioxidantes (flavonoides, fenoles, etc.), que pueden neutralizar los radicales libres del estrés oxidativo. Activación de vías de señalización antioxidantes: *Pseudomonas paralactis* puede activar vías de señalización de antioxidantes en las plantas, lo que puede llevar a cabo la expresión de genes antioxidantes y la producción de antioxidantes. Regulación de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS): *Pseudomonas paralactis* puede regular la producción de Ros en la planta, lo que puede reducir el estrés oxidativo y prevenir daños celulares. Mejora de la actividad de enzimas antioxidantes: pueden mejorar la actividad de enzimas antioxidantes en la planta, lo que puede mejorar la actividad de enzimas antioxidantes en las plantas, lo que ayuda a neutralizar los radicales libre y reducir el estrés oxidativo, (Ongena & Jacques, 2008).

Mecanismos moleculares involucrados. Activación de factores de transcripción antioxidantes: *Pseudomonas paralactis* pueden activar factores de transcripción antioxidantes, como el factor de transcripción NRF2, que regula la expresión de genes antioxidantes. Regulación de la expresión de genes antioxidantes: *Pseudomonas paralactis* puede regular la expresión de genes antioxidantes (catalasa, superóxido dismutasa, etc.). Interacción con las vías de señalización redox: *Pseudomonas paralactis* puede interactuar con vías de señalización redox en la planta, lo que puede regular la producción de ROS y la respuesta antioxidante.

Beneficios de la regulación del estrés oxidativo. Protección contra daños celulares: la reducción del estrés oxidativo por *Pseudomonas paralactis* puede proteger a las plantas contra daños celulares y mejorar su supervivencia. Mejora la tolerancia al estrés: la regulación del estrés oxidativo mejora la tolerancia de las plantas al estrés ambiental, como la sequía, el calor y el frío. Incremento de la productividad: la regulación del estrés oxidativo por *Pseudomonas paralactis* puede incrementar la productividad de las plantas y mejorar la calidad de los cultivos, (Whipps, 2001).

### **2.12.8 Cultivos donde se han utilizado *Pseudomonas paralactis***

Vessey, (2003) nos dice que las *Pseudomonas paralactis* ha sido utilizado en diferentes cultivos para promover el crecimiento vegetal y mejorar la salud de las plantas. Algunos de los cultivos que han utilizado esta bacteria son:

Cereales: trigo, maíz, arroz.

Legumbres: soja, frijol, lentejas.

Hortalizas: tomate, pepino, lechuga.

Cultivos de raíces: papa, zanahoria, remolacha.

Cultivos ornamentales: rosas, geranios.

### **2.12.9 Aplicaciones de *Pseudomonas paralactis* en la agricultura.**

Biofertilizantes: *Pseudomonas paralactis* se utiliza como biofertilizante para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas. Inoculantes de semillas: se utiliza como inoculante de semilla para mejorar la germinación y crecimiento de las plantas. Agente de control de plagas: *Pseudomonas paralactis* se utiliza como agente de control de plagas para controlar plagas y enfermedades de las plantas. Mejora de la calidad del suelo: *Pseudomonas paralactis* se utiliza para mejorar la calidad del suelo, reduciendo la presencia de contaminantes y mejorando la estructura y fertilidad del suelo, (Peoples & Craswell, 1992).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del área experimental

El experimento se realizó durante el ciclo agrícola primavera- verano 2024, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, la cual se localiza sobre el km 1.5 del periférico Torreón- Gómez- Lerdo y carretera Santa Fe, Torreón Coahuila, México, geográficamente se encuentra en los 25.553° latitud norte y 103.374° longitud oeste a 1120 msnm. El clima de la Comarca Lagunera se clasifica según Köppen como un clima árido o muy seco (estepario o desértico), cálido tanto en primavera como en verano, con invierno frío, la temperatura media anual varía entre 19.4° C Y 20.6° C. para este experimento se utilizó un lote de 2500 m<sup>2</sup> para sembrar semillas de melón.



**Figura 6** Ubicación geográfica del estado de Coahuila, México UAAAN-UL, 2020

#### 3.2 Descripción del experimento

Este estudio se realizó con el fin de evaluar la efectividad de *Pseudomonas paralactis* (*KBendop6p7*) la cual es una bacteria promotora de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) en la fijación y absorción de Nitrógeno y Fosforo y su efecto en el cultivo del melón. Esto con el fin de reducir el uso de químicos

utilizados en la fertilización además de evaluar las ventajas que tienen sobre los métodos convencionales, asimismo para postular a esta bacteria como una alternativa en la agricultura sustentable.

### **3.3 Variedad, siembra e inoculación del cultivo**

Las semillas de melón que se utilizaron fueron de la variedad Nitro F1 de la empresa semillera Harris Moran, inicialmente fueron lavadas y desinfectadas utilizando hipoclorito al 5%, posteriormente se realizaron lavados de enjuague con agua destilada para eliminar residuos de hipoclorito y del tratamiento de la semilla, se hizo este procedimiento de enjuague hasta que el agua ya no presentara coloración por el tratamiento de la semilla. Se prosiguió a inocular las semillas por inmersión en una solución acuosa durante un tiempo de 24 horas en un vaso precipitado, donde se depositaron las semillas previamente lavadas y desinfectadas con la cepa de *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7). Dicha cepa fue donada por el laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad de Juárez del Estado de Durango (UJED).

La inoculación de la bacteria se realizó en el laboratorio de Agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN- UL), se utilizó una concentración ajustada de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> en PBS al 0.5%, para posteriormente sembrar las semillas directamente al suelo. Seguidamente se hicieron dos reinoculaciones, la primera se realizó a la aparición de las primeras hojas verdaderas y la segunda se hizo a la aparición de las primeras flores, en ambas se aplicó 10 mL de la concentración ajustada mencionada anteriormente de la cepa *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7), esta aplicación se hizo dirigida a la base del tallo de la planta.

### 3.4 Nutrición

La nutrición fue de suma importancia dentro de este trabajo para el desarrollo adecuado del cultivo de melón, es por eso que para cubrir la demanda nutrimental de la planta se consideró el aporte de nutrientes del suelo y la solución Steiner, la cual fue la solución nutritiva que se utilizó para satisfacer correctamente esas necesidades por parte de las plantas; se usó como referencia la aplicación de nitrógeno y fósforo que se utiliza en la Comarca lagunera para alcanzar un máximo rendimiento (Cuadro 2), la técnica de aplicación de dicha solución fue a través del riego, el cual fue calculado con base a las necesidades de la evapotranspiración diaria y la etapa fenológica del cultivo, además se realizó un calendario de riego para un mejor control de esta actividad.

Rendimiento t/ha	Kg/ ha Unidades de fósforo	Kg/ ha Unidades de nitrógeno
30	60	120
40	80	160
50	100	200

**Cuadro 2.** Dosis de fósforo y nitrógeno recomendada en el cultivo de melón con base en la meta de rendimiento en la Comarca lagunera. INIFAP, 2024.

### 3.5 Labores agronómicas del cultivo

Dentro de las labores culturales se comenzó con el barbecho el cual se realizó a una profundidad de 40 cm para posteriormente rastrear el suelo, esto con el fin de dejar mullido el suelo, se prosiguió a formar las camas a una distancia de 2 m entre camas y un ancho de 1.20 m, se realizó la colocación de cintilla y acolchado, control de plagas y enfermedades, guiado de plantas, eliminación de malezas para garantizar un bienestar de las plantas y un buen desarrollo, además de esto se realizó la cosecha.

### **3.6 Tratamientos**

Con la finalidad de evaluar el efecto de *Pseudomonas paralactis* en la fijación y absorción de nitrógeno y fósforo en suelo y planta, así como su efecto en la productividad del cultivo de melón se consideraron tres dosis de fertilización. Estas fuentes de fertilización obedecen a las prácticas de los productores de la comarca lagunera con base a análisis de fertilidad de suelos, los tratamientos fueron fertilización al 100% (Pp100), fertilización al 85% (Pp85) fertilización al 70% (Pp70) dichos tratamientos inoculadas con *Pseudomonas paralactis* (KBendop6p7), Además, se consideró un testigo o Control (fertilización convencional sin inoculación

### **3.7 Variables evaluadas**

#### **3.7.1 Largo de guía.**

Esta variable se midió tomando en cuenta la base del tallo hasta la yema apical, la medición se realizó con una cinta métrica de la marca Truper, la unidad de medición que se utilizó para esta variable fue en metros (m).

#### **3.7.2 Biomasa de planta.**

Para la medición de esta variable se utilizó una balanza granataria metálica de la marca Ohaus, para realizar esta medición previamente se deshidrató la planta, los datos obtenidos se midieron en gramos (gr).

#### **3.7.3 Peso del fruto**

Para el peso del fruto se utilizó una balanza granataria metálica de la marca Ohaus, esta medición fue dividida en tratamientos, en los cuales posteriormente se estimó

un promedio de peso para cada tratamiento, tomando en cuenta frutos de diferentes repeticiones del tratamiento.

#### **3.7.4 Diámetro ecuatorial del fruto.**

El diámetro ecuatorial se midió de manera horizontal del fruto, dicha medición se hizo con un vernier marca Uline, dichas mediciones fueron expresadas en centímetros (cm).

#### **3.7.5 Diámetro polar del fruto.**

En cuanto al diámetro polar del fruto se midió desde el desprendimiento del pedúnculo hasta la base del fruto. Esta medición se realizó con un vernier marca Uline y la medición se expresó en centímetros (cm).

#### **3.7.6 Firmeza**

Estas medidas se tomaron con un penetrómetro de embolo de 8mm de la marca Extech el cual expresaba en Kg/cm<sup>2</sup>. Para la medición se tuvo que colocar el melón en una superficie plana y rígida.

#### **3.7.7 Solidos solubles totales (°Brix)**

Para llevar a cabo la medición de esta variable se tomaron muestras de 5 gr del melón para posteriormente colocar una gota del jugo de la pulpa fueron colocados en un refractómetro Hand Held. Esto se realizó para estimar el contenido de azucares del fruto.

### **3.7.8 Nitrógeno en planta**

Para la medición de esta variable se tomó una planta como muestra representativa del tratamiento, dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN- UL), el método para la determinación del nitrógeno fue el método semimicro Kendall modificado para planta.

### **3.7.9 Nitrógeno en suelo**

Para determinar el contenido de nitrógeno en suelo se sacaron muestras de suelo de la parcela donde se realizó el experimento, con un total de 500 gr de suelo se llevó a cabo dicha medición, para esta variable se utilizó el método de N total por el método de Kendall, dichos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la universidad autónoma agraria Antonio narro unidad laguna (UAAAN- UL).

### **3.7.10 Fosforo en planta**

Para la determinación de fósforo en planta se utilizó el método de solubilización de P por digestión con ácido perclórico y ácido nítrico, para llevar a cabo este método se tomó una muestra de planta del tratamiento, dicho método se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAAN- UL).

### **3.7.11 Fosforo en suelo**

Para la obtención de esta variable se tuvo que sacar una muestra de al menos 500 gr para después ponerse a secar y entonces llevar a cabo los procedimientos de laboratorio, para el caso del P fue por el método de determinación de P extractable en suelos neutros y alcalinos por el método de Olsen.

### **3.8 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, considerando las tres fuentes de fertilización Pp100, Pp85, Pp70 y un tratamiento Control. Para la distribución de estos tratamientos dentro de la parcela se sortearon de manera al azar. Todos los tratamientos tuvieron cuatro repeticiones dentro del lote.

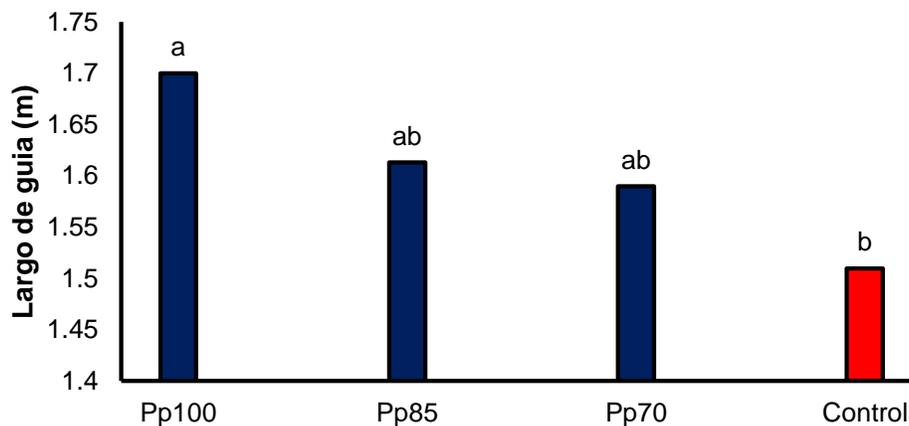
### **3.9 Análisis estadístico**

Se realizó el Análisis de varianza (ANOVA ) de los datos para cada variable evaluada con el paquete SAS 9.1, si existe diferencia significativa se utilizó  $LSD \leq 0.05$  probabilidad de comparación de medias.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Largo de guía.**

El análisis estadístico para esta variable presento diferencias estadísticas significativas. En la Figura 7 se muestra que el tratamiento con fertilización al 100% con inoculo (Pp100) incrementó un 12.5% mayor al valor obtenido por el tratamiento Control (fertilización al 100% sin inoculo). Asimismo, los tratamientos Pp85 y Pp70 son similares estadísticamente al tratamiento Pp100, mostrando un mayor efecto sobre esta variable que el tratamiento Control.

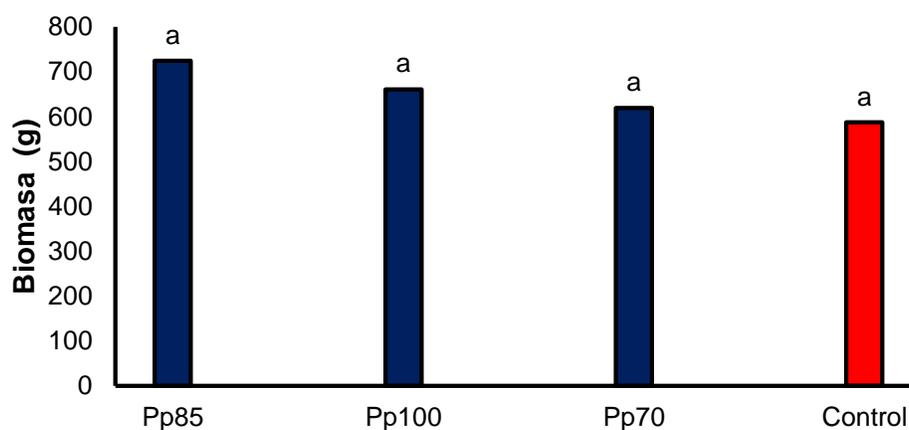


**Figura 7** Resultados en la altura de planta de melón inoculadas con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa,  $LSD \leq 0.05$

#### 4.2 Biomasa de planta

Al inocular las plantas de melón con la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 (Figura 8), no presento diferencias estadísticas significativas para esta variable.

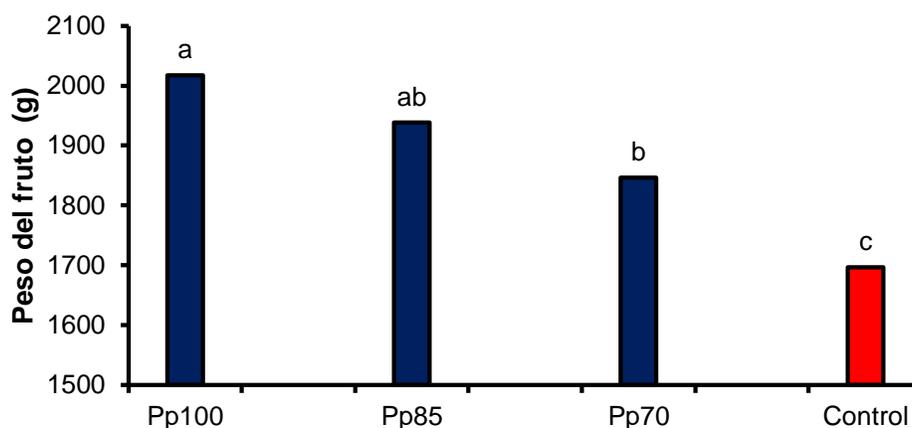


**Figura 8** Efecto sobre la biomasa en cultivo de melón inoculadas con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras iguales no presentan diferencias estadísticas.  $LSD \leq 0.05$

### 4.3 Peso del fruto

La media de los tratamientos con respecto a esta variable, donde al inocular las plantas de melón *Pseudomonas paralactis KBendop6p7* se encontró diferencia estadística significativa (Figura 9). De los cuales los tratamientos Pp100 y Pp85 presentan un incremento estadísticamente similar pero mayor al Control de 18% y 14.2% respectivamente.

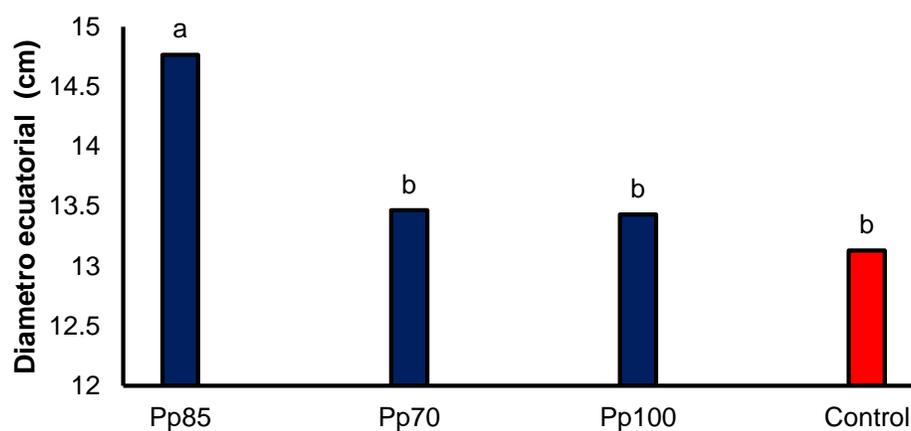


**Figura 9** Resultados del peso del fruto en cultivo de melón inoculadas con *Pseudomonas paralactis KBendop6p7* y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

### 4.4 Diámetro ecuatorial del fruto

En la Figura 10 se observa que al inocular las plantas de melón con *Pseudomonas paralactis KBendop6p7* se presenta diferencia estadística con respecto al diámetro ecuatorial de fruto. En el cual el tratamiento Pp85 muestra un incremento del 12.4% con respecto al Control. Los tratamientos Pp70 y Pp100 presentan valores estadísticamente similares al Control.

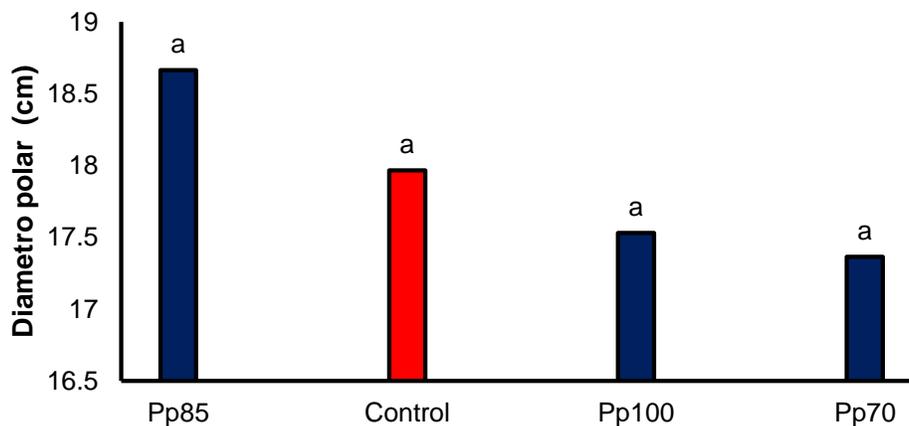


**Figura 10** Comportamiento del diámetro ecuatorial del fruto de melón al inocular con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.5 Diámetro polar del fruto

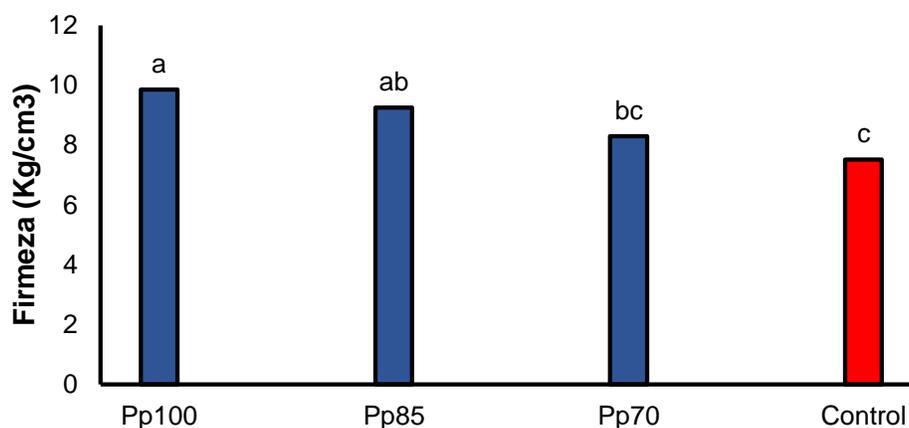
El análisis estadístico para esta variable, no presento diferencias estadísticas significativas (Figura 11).



**Figura 11** Efecto sobre el diámetro polar del fruto en cultivo de melón inoculados con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 con diferentes dosis de fertilización. \*Letras iguales no presentan diferencias estadísticas,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.6 Firmeza

Al utilizar *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 en plantas de melón se presenta diferencias estadísticas significativas. En la Figura 12 se muestra que el tratamiento Pp100 y Pp85 mostraron valores estadísticamente similares, sin embargo, el tratamiento Pp100 destaca al haber obtenido un incremento 30.9% con respecto al tratamiento Control.



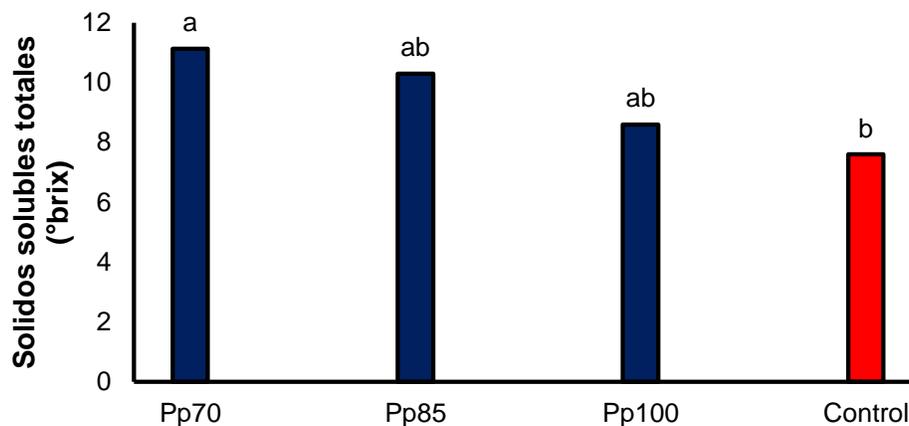
**Figura 12** Inoculación al cultivo de melón con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización para el efecto sobre la firmeza.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.7 Solidos solubles totales (° brix)

La Figura 13 muestra que el uso de *Pseudomonas paractis KBendop6p7* sobre plantas de melón para esta variable presenta diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos Pp70 y Pp85 muestran un incremento estadísticamente similar, sin embargo, el tratamiento Pp70 destaca por obtener el mayor incremento respecto al Control con un 46%.

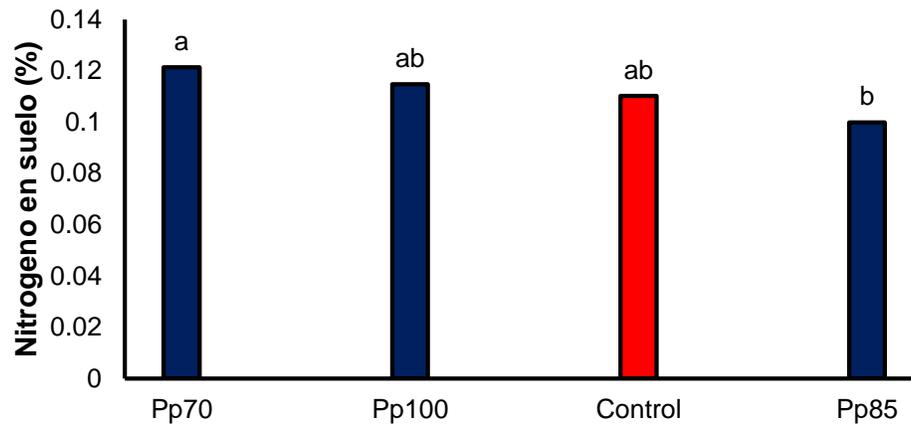
**Figura 13** Inoculación de *Pseudomonas paractis KBendop6p7* en plantas de melón con diferentes dosis de fertilización y el efecto en la concentración de azúcares.



\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.8 Nitrógeno en suelo

El análisis estadístico para esta variable, presento diferencias estadísticas significativas. En la figura 14 se muestra que el tratamiento Pp70 incremento un 21.4% mayor al valor obtenido por el tratamiento Pp85. Los tratamientos Pp100 y Control presentan valores estadísticamente similares al tratamiento Pp70 resultando estadísticamente mejor al Control.

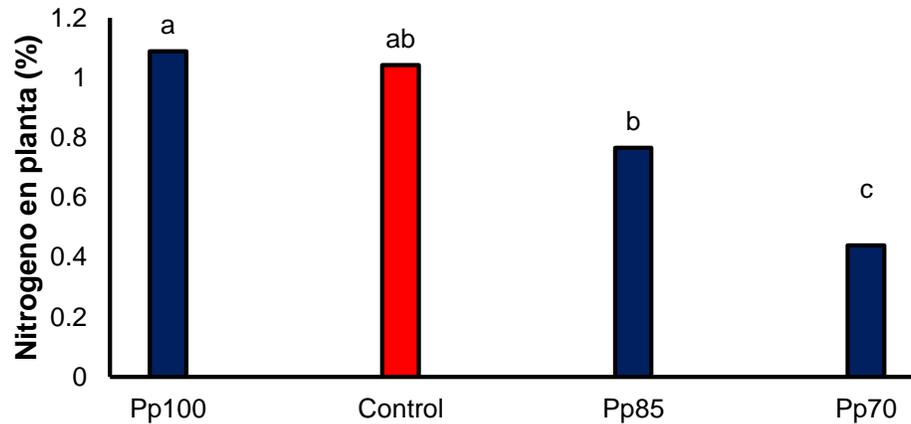


**Figura 14** Efecto sobre nitrógeno de suelo en cultivo de melón inoculados con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.9 Nitrógeno en planta

El efecto de la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 sobre esta variable muestra diferencias estadísticas significativas. En la figura 15 se muestra que los tratamiento Pp100 y Control presentan valores estadísticamente similares, el tratamiento Pp100 destaca por mostrar incremento un 147.2% mayor al valor obtenido por el tratamiento Pp70.

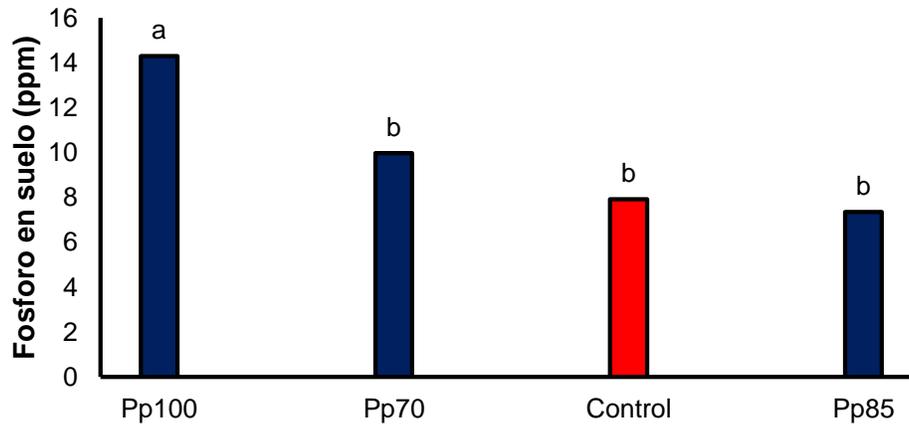


**Figura 15** Efecto sobre el nitrógeno en planta en cultivo de melón inoculado con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.10 Fosforo en suelo

En la Figura 16 se muestra que al inocular las plantas de melón con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 presentó diferencias estadísticas significativas. El tratamiento Pp100 incremento un 80.3% con respecto al tratamiento Control. Los tratamientos restantes Pp70 y Pp85 obtuvieron valores similares al tratamiento Control, resultando sin diferencia significativa entre sí.

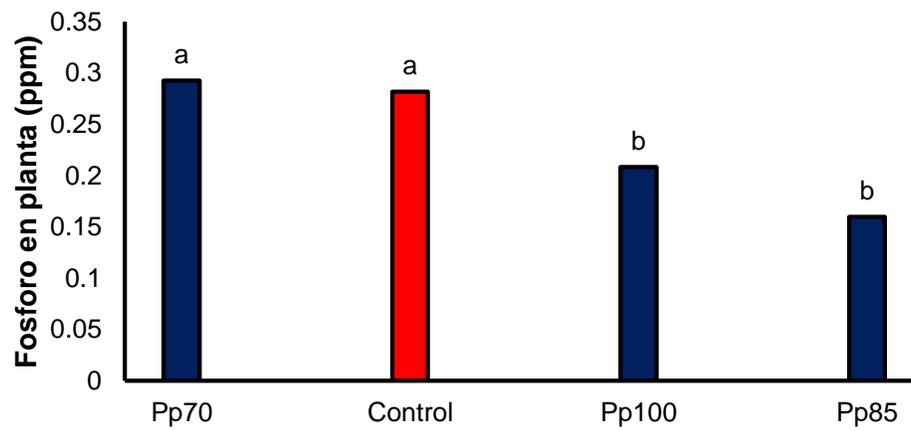


**Figura 16** Efecto sobre el fosforo en suelo en cultivo de melón inoculado con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 con diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$ .

#### 4.11 Fosforo en planta

Se puede observar (Figura 17) que al inocular las plantas de melón con la rizobacteria *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7, se muestra una diferencia estadística para esta variable. El tratamiento Pp70 muestra el mejor resultado incrementando un 83.5% con respecto al tratamiento Pp85. Asimismo, el tratamiento Control resulta estadísticamente mejor en comparación con el Control.



**Figura 17** Efecto sobre el fosforo en planta en cultivo de melón inoculado con *Pseudomonas paralactis* KBendop6p7 y diferentes dosis de fertilización.

\*Letras diferentes indican diferencia estadística,  $LSD \leq 0.05$

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al inocular plantas de melón (*Cucumis melo* L) con *Pseudomonas paralactis* mejoró el desarrollo vegetativo, obteniendo incrementos destacables en variables como largo de guía y biomasa de planta, esto puede estar estrechamente relacionado con la producción de fitohormonas tales como auxinas y citocininas, dichas fitohormonas están relacionadas con la división, elongación y diferenciación celular, (Spaepen & Vanderleyden, 2011). Asimismo, las variables peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto presentaron resultados destacables influyendo en la calidad comercial del fruto, esto se puede relacionar con la producción de fitohormonas previamente mencionadas, también las giberelinas pueden promover el crecimiento del fruto al estimular proceso celulares tales como la división y elongación, (Davies,2010).

En las variable firmeza presentan mejores resultados al ser inoculadas con la rizobacteria *Pseudomonas paralactis*, estos resultados pueden estar ligados a la capacidad que tiene esta rizobacteria de aumentar la concentración de metabolitos tales como, flavonoides, carotenoides, ácidos orgánicos, fenoles y capacidad antioxidante, estos metabolitos aumentan la calidad comercial del fruto debido a la mejora de aspectos como la apariencia, el color, aroma, y sabor, metabolitos como los ácidos orgánicos pueden mejorar la vida de anaquel del fruto debido a la síntesis de etileno, el cual está estrechamente relacionado con la maduración del fruto, (Lee, *eat al*, 2020). Además, la variable solidos solubles totales (°brix) mostró mejores resultados al ser inoculado con *Pseudomonas paralactis*, esto posiblemente está relacionado con la producción de azúcares, estudios demuestran que los géneros *Pseudomonas* pueden mejorar la calidad nutracéutica del fruto, (Wang, *eat al*, 2019).

En las variables de nitrógeno en suelo y planta, las plantas que fueron inoculadas con *Pseudomonas paralactis* presentan resultados estadísticamente similares a las plantas sin inóculo, sin embargo, los valores obtenidos por algunos tratamientos con inóculo superan a los valores obtenidos por el control, esto se puede atribuir a que el género *Pseudomonas* tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Postgate, 1982). Estudios realizados por Sangoquiza, *et al*, (2019) en cultivo de

maíz inoculado con *Azospirillum sp.* y *Pseudomonas fluorescens* mencionan que la fijación de nitrógeno puede ser superior a la absorción de este por parte de la planta, lo que puede originar diferencias entre el contenido de nitrógeno en suelo y planta.

En las variables de fósforo en suelo y planta los resultados entre los tratamientos inoculados con *Pseudomonas paralactis* y el control no presentan diferencias estadísticas significantes, sin embargo, tratamientos con inoculo superan los valores obtenidos por el tratamiento control, este suceso puede estar ligado a que los géneros *Pseudomonas* tienen la capacidad de solubilizar fósforo, haciéndolos asimilables para las plantas, (Whitelaw, 2000). Especies de rizobacterias como *Bacillus subtilis* tienen la capacidad de solubilizar grandes cantidades de fósforo, aunque estas cantidades de fósforo pueden estar disponibles para las plantas, no necesariamente son absorbidos en su totalidad, esto debido a las demandas nutricionales de la planta, lo que puede generar o no una correlación entre el contenido de fósforo en el suelo y la planta, (Cisneros, et al, 2016).

## 6. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso de *Pseudomonas paralactis* como inoculante en conjunto de diferentes dosis de fertilización, mejoraron el desarrollo vegetativo del cultivo de melón, obteniendo resultados relevantes en las variables morfológicas tales como largo de guía, biomasa de planta, peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto y polar, firmeza y sólidos solubles totales (°brix), además se lograron resultados buenos en la fijación y absorción de nutrientes como nitrógeno y fosforo. Los resultados muestran que se puede reducir gastos en fertilización esto debido a que los tratamientos Pp85 igualan o en algunos casos superan a los resultados obtenidos por los tratamientos con fertilización al 100%.

Con los resultados obtenidos en este trabajo *Pseudomonas paralactis* puede ser propuesta como una alternativa para la mejora de la producción de melón en la Comarca Lagunera, ya que puede reducir costos de producción y mejorar la calidad del producto.

*Pseudomonas paralactis* representa una alternativa en la agricultura principalmente por la gran cantidad de mecanismos que permiten mejorar el desarrollo vegetativo y la productividad de los cultivos, además, de que esta rizobacteria se puede posicionar como una opción en la agricultura sustentable ya que puede ayudar a disminuir el uso de fertilizantes químicos, plaguicidas que tienen efectos negativos en los ecosistemas, y contribuir a una agricultura más amigable con el medio ambiente.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Alcívar, M. L. y Vargas, J. M. 2011. Comportamiento agronómico de cuadro híbridos de melón (*Cucumis melo* L.) sometido a tres densidades poblacionales, tesis posgrado. Universidad Técnica de Manabí Santa Ana, Ecuador.

Azpilcueta Pérez, M. E., Pedraza Sandoval, A., Sánchez Cohen, I., Salcedo Jacobo, M. R., & Trejo Calzada, R. (2017). Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en La Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 67-79.

Bashan, Y., & Holguin, G. (1998). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8), 1225-1228.

Beckles D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63(1): 129-140.

Bisognin, D. A. 2002. Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural*. 32(5).

Cano-Ríos P. y J. J. Espinoza A. 2002. El Melón: Tecnologías de producción y comercialización. Generalidades de producción. CELALA, CIRNOCINIFAP. Torreón-Matamoros, Coahuila, México. 4 (1). 11-15.

Cano-Ríos P. y V. H. González, V. 2002. Efecto de la distancia entre camas sobre el crecimiento, desarrollo y calidad de los frutos y producción de melón *Cucumis melo* L. CELALA-INIFAP-SAGARPA. Matamoros Coahuila, México.

Chew M. Y. I. y F. Jiménez D. 2002. Enfermedades del melón. In: El melón: Tecnologías de Producción y comercialización. Libro Técnico 4. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-CELALA. Matamoros, Coahuila. 161-167.

Chew, M. Y. I., V. Piña A., P. Rodríguez, M. y F. Jiménez D. 2008. Enfermedades del melón (*Cucumis melo* L.) en diferentes fechas de siembra en la Región Lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 7(2): 133-138.

CienciaUAT. (2019). Análisis del financiamiento, comercialización y rentabilidad del cultivo de melón, con enfoque de “siembras por etapas” en la Comarca Lagunera de Coahuila México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). Proyecto GEF-CIBIOGEM de Bioseguridad. 1-28.

Edmond J. B. 1981. Principios de horticultura. CIA. Editorial Continental S. A. de C. V. México. Tercera edición. Pp. 496-498.

FAO-FAOSTAT. 2023. Datos de Alimentación y agricultura. Producción de Melón. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Fao.org/faostat/es](http://Fao.org/faostat/es).

FAOSTAT (2023). Estadísticas de la FAO. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. <http://www.fao.org/faostat>.

Forde, B. G., & Lea, P. J. (2007). Glutamate in plants: metabolism, regulation and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 58(9), 2339-2358.

Fornaris J., G. 2001. Conjunto tecnológico para la producción de melón “Cantaloupe” y “Honey dew”. Características de la planta. Colegio de ciencias agrarias. Universidad de puerto rico. 5 p.

Frankenberger, W. T., & Arshad, M. (1995). *Phytohormones in soils: Microbial production and function*. Marcel Dekker.

Hartz T. y M. Cantwell 2008. *Cantaloupe production in California*. University of California Cooperative Extension Specialist, Department of Plant Sciences, University of California, Davis. Oakland, California.

Hecht D. 2000. Seminario internacional sobre producción de hortalizas en diferentes condiciones ambientales. Cultivo del melón. Galia. Israel. P. 8.

Heredia Z. N. y M. Vieira H. 1982. Cultivo del melón. Manual de cultivos hortícolas. Ministerio de agricultura y ganadería división de programación y evaluación agropecuaria de guayas.

Hirsch, A. M. (1992). Developmental biology of legume nodulation. *New Phytologist*, 122(2), 211-237.

Humphrey C. L. 2017. Manual de manejo agronómico para cultivo de melón. INIAINDAP. Santiago, Chile. 90

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2017). Manual de manejo agronómico para cultivo de melón *Cucumis melo* L. (1.a ed., Vol. 1). Extraído de: C:/Users/VAIO/Downloads/INIA\_Libro\_0059.pdf

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2014. Melón: Tecnologías de producción y comercialización. Recuperado 15 de agosto 2021. <http://www.biblioteca.inifap.gob.mx>

Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*, 2, 879-882.

Koppert. 2018. Araña roja. Fecha de consulta: 29 de marzo 2022. Disponible: <https://www.koppert.mx/retos/aranas-rojas-y-otras-aranas/arana-roja/>

Krístkova E, Lebada A, V. Vinter V y Blahousek O. 2003. Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description. *Hortic Science (Prague)*, 1:30. Extraído de: <http://www.biochemtech.uadec.mx/wpcontent/uploads/2022/01/1-JBCT-2020-001.pdf>

Krístková E., A. Lebada, V. Vinter y O. Blahousek 2003. Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description. *Horticultural Science (Prague)*, 30:1.

Lira S., R. 2001. Flora del bajío y de regiones adyacentes. Familia Cucurbitaceae. Instituto de ecología. Pátzcuaro. Michoacán. México. 128 p.

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology, 63, 541-556.

Marco, M. H. 1969. El melón: Economía, producción y comercialización. Editorial Acrabia. España. Pp. 42-45, 49-52, 53-54.

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Martínez F., J.C. 2012. Propagación y técnicas de cultivo del melón (Cucumis melo). Revista vinculando <https://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagaciony-tecnicas-de-cultivo-del-melon-cucumis-melo.html>

Martínez F., J.C. 2012. Propagación y técnicas de cultivo del melón (Cucumis melo). Revista vinculando <https://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagaciony-tecnicas-de-cultivo-del-melon-cucumis-melo.html>

Nava-Camberos U., Y. I. Chew-Madinaveitia, y P. Cano-Ríos 2007. Etiología, epidemiología y manejo del amarillamiento del melón en la Comarca 60 Lagunera. En L. A. Maldonado-Navarro y G. A. Fierros-Leyva (Eds.), Estrategias de Manejo Integrado de Mosquita Blanca y Virosis en Cucurbitáceas Sonora, México: SAGARPA/Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 10-28.

Oliva M., A.E., S.G. Gamba S., Y González M., F. 2015. La producción de melón temprano en la ciudad de la rioja. No.10(1) INTA. Argentina. 18 p.

Oliva M., A.E., S.G. Gamba S., Y González M., F. 2015. La producción de melón temprano en la ciudad de la rioja. No.10(1) INTA. Argentina. 18 p.

Ongena, M., & Jacques, P. (2008). Bacillus lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. Trends in Microbiology, 16(3), 115-125.

Peoples, M. B., & Craswell, E. T. (1992). Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture. Plant and Soil, 141(1), 13-39.

Pitrat M., P. Hanelt and K. Hammer 2000. Some comments on infraspecific classifications on cultivars of melon. In: Katzir N., Paris H. S., eds. Proceedings of Cucurbitaceae 2000, 7th Eucara Meeting in Cucurbit Genetics and Breeding. Acta Hort 510: 29-36.

Portillo E., Ma., D. 2019. Manual para la exportación de melón (*Cucumis melo*) de honduras al mercado estadounidense. Proyecto. Ingeniera en administración de agronegocios. Licenciatura. Escuela agrícola panamericana. Zamorano. Honduras. 60 p.

Postgate, J. R. (1982). The Fundamentals of Nitrogen Fixation. Cambridge University Press.

Raghothama, K. G. (1999). Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50, 665-693.

Ramírez-Delgado M., U. Nava-Camberos y A. A. Fu Castillo 2002. Manejo integrado de plagas en el cultivo del melón. El melón: Tecnologías de Producción y comercialización. Libro Técnico. SAGARPA-INIFAPCIRNOC-CELALA. Torreón-Matamoros, Coahuila. 4: 129-136.

Secretaria de agricultura y desarrollo rural, (SADER). (2024). Producción de melón mexicano en nivel más alto en tres años.

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Cultivo de melón.

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Cultivo de melón.

Servicio de información Alimentaria y Pesquera. SAGARPA. México.

Servicio de información Alimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2023. Producción de melón a nivel nacional. <https://www.gob.mx>

Sierra E., J. Cruz., A.D. Casaca. 2005. Cultivo de melón (*Cucumis melo*). Guías tecnológicas de frutas y vegetales. Costa rica. 13 p

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis. Academic Press.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.

Tercero C., S.G. 2018. *Generalidades y Manejo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Melón (Cucumis melo L.) en la Empresa Lowland Corporation, Ciudad Sandino, Managua, 2016-2017*. Trabajo de graduación. Pasantía. Ingeniero en sistema de protección agrícola y forestal. Universidad nacional agraria. Managua. Nicaragua. 58p.

Tercero G. 2018. *Generalidades y Manejo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Melón (Cucumis melo L.) en la Empresa Lowland Corporation, Ciudad Sandino, Managua, 2018-2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional agraria. Managua, Nicaragua. 25-30 pp.

Tercero S., 2018. *Generalidades y Manejo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Melón (Cucumis melo L.) En la Empresa Lowland Corporation, Trabajo de pasantía. Ciudad Sandino, Managua, Nicaragua*. 6-15 pp.

Universidad de California (2019). *Economic Analysis of Melon Production in California*.

Universidad de Nebraska (2018). *Crop Rotation with Melon*

Universidad de São Paulo (2017).\* *Uso de microorganismos benéficos para controlar enfermedades en plantas*.

Vargas-González, G., Álvarez-Reyna, V. P., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., & García-Carrillo, M. (2019). *Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México*. *CienciaUAT*, 13(2), 67-79.

Veintimilla, 2011. *Exportación de melón a Rusia*. Tesis. Facultad De Ciencias Económicas Y Negocios. Universidad Tecnológica Equinoccial. Available at: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/8094/1/44589\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/8094/1/44589_1.pdf)

Vessey, J. K. (2003). *Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers*. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586.

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586.

Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52(900), 487-511.

Whitelaw, M. A. (2000). Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, 69, 99-151.

Zarate A., G. 2009. Caracterización y Evaluación Agronómica de Materiales Orgánicos Potenciales para Utilizarse como Sustratos en Cultivos Sin Suelos de Melón. Instituto Politécnico Nacional. Tesis. Maestría.