

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



Nanotubos de carbono y rizobacterias promotoras del crecimiento en la producción y  
calidad de berenjena

**Por:**

**Mariana Itzel Pérez Gutiérrez**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2025

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

Nanotubos de carbono y rizobacterias promotoras del crecimiento en la producción y  
calidad de berenjena

Por:


**Mariana Itzel Pérez Gutiérrez**


TESIS


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


**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**


Aprobada por:

  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Presidente

  
Dr. Raúl Alejandro Ramos Salazar  
Vocal Externo

  
Dr. Antonio Castillo Martínez  
Vocal

  
M.E Víctor Martínez Cueto  
Vocal Suplente

  
M.C. Rafael Ávila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Nanotubos de carbono y rizobacterias promotoras del crecimiento en la producción y  
calidad de berenjena

Por:


**Mariana Itzel Pérez Gutiérrez**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

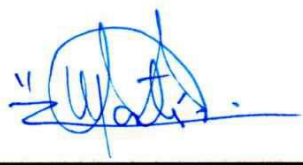
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Asesor Principal

  
Dr. Raúl Alejandro Ramos Salazar  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Antonio Castillo Martínez  
Coasesor

  
M.E Víctor Martínez Cueto  
Coasesor

  
M.C. Rafael Avila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas  
Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2025

  
Coordinación de la División  
Carreras Agronómicas

## **DEDICATORIAS.**

### **A MIS PADRES.**

**Marisol Gutiérrez Camacho y David Perez Gutiérrez**, por darme la dicha de ser su hija, mi vida es perfecta si los tengo a ustedes a mi lado, les dedico este logro porque también es su esfuerzo, por estos años de sacrificios que hicieron para que yo tuviera lo mejor siempre, sobre todo por darme esta carrera profesional, por dejarme salir a conocer el mundo. A pesar de la distancia siempre tuve sus palabras que me motivaban, por ese cariño que siempre expresaban, gracias por todo lo que me dan a manos llenas. Ustedes son mis personas favoritas y sus brazos mi lugar seguro.

### **A MIS HERMANOS.**

**David Perez Gutiérrez y Omar Perez Gutiérrez** ustedes por ser mis compañeros de vida, por todo lo que hemos vivido juntos, por su apoyo, risas, cariño, por siempre ser quienes le dan sentido a mi vida.

### **A MIS ABUELOS PTERNOS.**

**Odilón Perez Juárez y Caritina Gutiérrez Jiménez**, ellos que ya no se encuentran en este mundo, pero si en mi corazón. Gracias a ustedes me he convertido en la persona que soy ahora, por ser mi fuente de inspiración en todos los aspectos de mi vida, por todo lo que me enseñaron en esos años que estuvieron a mi lado, ojalá pudiera verlos una vez más y decirles que soy muy feliz, que este logro también es por ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

### MIS PADRES

**Marisol Gutiérrez Camacho** y **David Perez Gutiérrez**, estoy totalmente agradecida por nunca dejarme sola, por no ponerme límites en mi vida, por apoyarme en cada decisión que doy, por su esfuerzo y dedicación que me brindaron para lograr culminar esta carrera profesional.

**MI ALMA TERRA MATER (UAAAN- UL)** por dejarme ser parte de esta institución que me ayudo a mi formación profesional, por todas las experiencias vividas como estudiante en estos años.

**Mi asesor de tesis Dr. José Rafael Paredes Jacome**, por compartir su conocimiento, ayudarme a realizar este proyecto, por su tiempo dedicado a mi estancia de formación profesional.

A **Dr. Antonio Castillo Martínez**, su aportación en mi vida como estudiante, por formar mi educación universitaria, por transmitir su enseñanza y por su motivación en cada palabra de apoyo.

A el **Departamento de Horticultura** y todos los **maestros** que me dieron clase a lo largo de mi estancia universitaria, por darme herramientas y conocimientos fortaleciendo mis habilidades y aprendizajes.

**Erick Vázquez** mi mejor amigo, por siempre estar conmigo a pesar de la distancia, por siempre hacer notar tu apoyo incondicional.

A mis **amigos** que conocí en la universidad que estuvimos acompañándonos en este proceso, por compartir conocimientos, tener experiencias fuera de la universidad, por las experiencias vividas y el apoyo brindado.

# ÍNDICE

DEDICATORIAS .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
HIPÓTESIS .....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen del cultivo berenjena.....	3
2.2 Importancia del cultivo de la berenjena. ....	3
2.2.1 Producción Nacional .....	3
2.2.2 Producción mundial. ....	4
2.3 Características botánicas del cultivo de berenjena .....	5
2.3.1 Sistema radical. ....	5
2.3.2 Tallo.....	5
2.3.3 Hoja .....	5
2.3.4 Flor .....	5
2.3.5 Fruto .....	5
2.3.6 Semilla.....	6
2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de la berenjena .....	6
2.5 Clasificación taxonómica de la berenjena. ....	7
2.6 Principales plagas y enfermedades en el cultivo de berenjena .....	8
2.6.1 Plagas de mayor importancia en el cultivo de berenjena.....	8
2.6.2 Enfermedades causadas por hongos fitopatógenos. ....	9
2.6.3 Bacterias causantes de enfermedades en el cultivo de berenjena....	10
2.7 Requerimientos edafo-climáticos.....	10
2.7.1 Temperatura.....	10

2.7.2 Clima .....	11
2.7.3 Luminosidad. ....	11
2.7.4 Suelo. ....	11
2.8 Solución nutritiva Steiner. ....	11
2.9 Nanotecnología en la agricultura.....	12
2.9.1. Aplicaciones de uso de Nanotecnología en la agricultura. ....	13
2.9.2 Biofertilizantes.....	15
<b>3. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>18</b>
3.1 Ubicación del experimento .....	18
3.2 Material vegetal y siembra .....	18
3.3 Nanotubos de carbono.....	19
3.4 Manejo del cultivo.....	20
3.4.1 Método de siembra y germinación.....	20
3.4.2 Establecimiento del experimento.....	20
3.4.3 Trasplante. ....	20
3.4.4 Riego. ....	20
3.4.5. Identificación y etiquetado de tratamientos. ....	20
3.4.6 Tutorio.....	21
3.4.7 Deshoje y desbrote.....	21
3.4.8 Aplicación de productos fitosanitarios y estimulantes. ....	21
3.5 Descripción de los tratamientos.....	22
3.6 Variables agronómicas evaluadas.....	23
3.7 Análisis estadístico .....	24
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Variables agronómicas evaluadas en berenjena.....	25
4.1.1 Biomasa fresca de la planta (g) .....	25
4.1.2 Biomasa seca de la planta (g).....	26
4.1.3 Peso fresco de raíz (g) .....	27
4.1.4 Peso seco de raíz (g).....	28
4.1.5 Largo de raíz (cm).....	29
4.1.6 Diámetro del tallo (mm).....	30
4.2 Variables de calidad de producción en berenjena .....	31

4.2.1 Peso fresco fruto (g).....	31
4.2.2 Peso seco del fruto (g) .....	32
4.2.3 Firmeza (Kg/cm <sup>2</sup> ) .....	33
4.2.4 Vitamina C (Mg/100 g) .....	34
4.2.5 Solido solubles totales (° Brix) .....	35
4.2.6 Rendimiento (g/planta) .....	36
5. CONCLUSIONES .....	38
6. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	39



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producción nacional del cultivo de berenjena. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Composición por cada 100 gramos de porción comestible. (Consumer 2025). ....	6
<b>Tabla 3.</b> Principales plagas en el cultivo de berenjena. ....	8
<b>Tabla 4.</b> Principales enfermedades causadas por hongos.....	9
<b>Tabla 5.</b> Enfermedades ocasionadas por bacterias. ....	10
<b>Tabla 6.</b> Temperatura °C mínima, optima y máxima para el cultivo de berenjena...	10
<b>Tabla 7.</b> Concentración (Meq/L) para aniones y cationes, (Steiner, 1980).....	12
<b>Tabla 8.</b> Productos fitosanitarios y estimulantes aplicados para control de plagas y enfermedades.....	21
<b>Tabla 9.</b> Descripción de tratamientos aplicados.....	22
<b>Tabla 10.</b> Descripción y muestras vegetales utilizadas para las variables agronómicas. ....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura. 1.</b> Localización del experimento .....	18
<b>Figura. 2.</b> Semilla de berenjena.....	18
<b>Figura. 3.</b> Nanotubos de Carbono. ....	19
<b>Figura. 4.</b> Medio de cultivo líquido con rizobacterias .....	19
<b>Figura. 5</b> Resultados de los tratamientos y su interferencia de biomasa fresca (g) .....	25
<b>Figura. 6</b> Resultados en la aplicación de bioinsumos en la biomasa seca de la planta (g) .....	26
<b>Figura. 7</b> Datos obtenidos en la ejecución de tratamiento, afectando el peso fresco de la raíz (g).....	27
<b>Figura. 8</b> Documentación de tratamientos que alteran el peso seco de la raíz. ....	28
<b>Figura. 9</b> Aplicación de NTC y rizobacterias con soluciones nutritivas al 70 y 100% de concentración influyendo en lo largo de la raíz (cm) .....	29
<b>Figura. 10</b> La influencia de tratamientos aplicados, en el diámetro del tallo (mm). .	30
<b>Figura. 11</b> Peso fresco del fruto (g) en el cultivo de berenjena, aplicando rizobacterias y NTC. ....	31
<b>Figura 12.</b> Efecto en el peso seco del fruto por aplicación de NTC y rizobacterias, con dos concentraciones de solución nutritiva (100 y 70 %) .....	32
<b>Figura. 13</b> Firmeza del cultivo de berenjena aplicando dos bioproductos y concentraciones diferentes de SN. ....	33
<b>Figura. 14</b> Respuesta en la concentración de vitamina C con diferentes tratamientos aplicados en el cultivo de berenjena .....	34
<b>Figura. 15</b> Resultados obtenidos de SST (°Brix) en <i>Solanum melongena</i> L realizando diferentes tratamientos .....	35
<b>Figura. 16</b> Producción por planta de berenjena, bajo diferentes concentraciones de nutrición y aplicaciones de <i>Bacillus</i> spp junto con NTC.....	36

## RESUMEN

La berenjena (*Solanum melongena*) es un cultivo originario de Asia, China, zonas tropicales y subtropicales; tiene importancia social, económica y de salud a nivel mundial. México es uno de los principales productores a pesar de ser poco consumida en el país. Esta investigación.

Esta investigación se desarrolló en UAAAN-UL buscando eficientar la producción de berenjena mediante nanotubos de carbono y rizobacterias, como potencializadores de producción y manejo adecuado de nutrientes. Se aplicó un diseño experimental de bloques completamente al azar, estableciendo 7 tratamientos con 12 repeticiones a las que se aplicaron rizobacterias (*Bacillus* spp). Otras plantas fueron tratadas con nanotubos de carbono (NTC) y en algunos tratamientos se aplicó una combinación de ambos. Para comparar la eficiencia de nutrientes se diseñó una aplicación de solución nutritiva Steiner con concentración al 100% y al 70%. Para el análisis de variables se utilizó el programa estadístico SAS 9.1 para realizar el análisis de varianza (ANVA), y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Se observó un rendimiento positivo de NTC con rizobacterias comparado con el testigo, logrando un aumento de 9.7 %; de forma separada en cualquier solución nutritiva (SN) tuvo una afectividad favorable.

**Palabras clave:** Simbiosis, Nanotecnología, Solución nutritiva

## 1. INTRODUCCIÓN

De nombre científico *Solanum melongena* L., usualmente llamada berenjena, hortaliza familia de las solanáceas donde tiene una gran diversidad de especies y géneros, en términos botánicos es una baya de color púrpura oscuro, originaria de Asia tropical y subtropical extendiéndose a países mediterráneos templados. (González-Lavaut et al. 2007). Fruto que a lo largo del mundo tiene su importancia económica, por su peculiaridad sabor, además de su contenido de nutrientes que esta contiene, aportando a las necesidades de la salud humana (SADER 2025).

Los desafíos en la agricultura moderna están llevando a prácticas con mayor impacto positivo en la naturaleza, utilizando con menor cantidad los insumos químicos agrícolas, que tienen un impacto negativo en el ambiente, degradando los factores bióticos y abióticos, esto ha impulsado nuevos avances tecnológicos (Tovar et al., 2023).

Tomando en cuenta que los seres vivos también hacen aportaciones a estas prácticas agronómicas, una de las alternativas para estos desafíos, son las bacterias RPCV favorecen efectos benéficos a través de mecanismos indirectos y directos o en combinación de ambos (Aguado et al., 2012) Según Zahid et al., (2015) dice que al emplear bacterias como biofertilizantes ayudan a la disponibilidad de los elementos nutricionales, crecimiento y rendimiento en las plantas.

Además, el avance científico nos ha ayudado en la agricultura con la nanotecnología brindando herramientas aplicables en cultivos agrícolas, dando como resultado desarrollos morfológicos, fisiológicos además de bioquímicos (Wang et al., 2019) De acuerdo con Verma et al., (2019) la interacción entre plantas y resultado en la aplicación de nanotubos de carbono varia en concentración, tamaño, tiempo de exposición y cantidad.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la aplicación de nanotubos de carbono y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el rendimiento y calidad de la producción de berenjena (*Solanum melongena* L).

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar si los nanotubos de carbono afectan el crecimiento y producción en el cultivo de berenjena.
- Analizar si en la aplicación de las rizobacterias realizan cambios significativos en el cultivo de berenjena.
- Medir parámetros agronómicos, en plantas de berenjena tratadas con nanotubos de carbono y rizobacterias sabiendo así la mejora de absorción de nutrientes.

## **HIPÓTESIS**

La aplicación de nanotubos de carbono, junto con rizobacterias del género *Bacillus* spp, pueden dar una aportación en el mejoramiento de nutrición y producción en el cultivo de berenjena, reduciendo la aplicación química.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen del cultivo berenjena.

Las solanáceas es una familia de hortalizas que tiene una importancia, económica, nutricional y cultural, en este grupo de hortícola se encuentran, la papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annum*), por mencionar algunos de relevancia mundial.

La berenjena (*Solanum melongena* L) tiene registros en lugares asiáticos en zonas subtropicales y tropicales, específicamente en China, India y Birmania (Mayer et al, 2012) en el siglo XVII fue teniendo más apariciones a países en el mediterráneo y parte de Europa con climas más templados (Arguedas et al., 2017).

### 2.2 Importancia del cultivo de la berenjena.

La berenjena es consumida en su etapa inmadura del fruto, cuando las semillas tienden a tener mínimas apariciones. Gracias a su contenido mineral de la berenjena, es que su importancia en la alimentación tiene mayor relevancia, además de su contenido de vitaminas, fibra, etc. Su peculiar sabor ha hecho que la cocina integre esta hortaliza en diferentes platillos, presentaciones atractivas para el consumidor, como frita, asada, cocción a vapor o en algún postre (Huertas, 2020).

Sus propiedades antioxidantes pueden llegar a usarse como un ingrediente más a las dietas o algún uso medicinal. Favoreciendo al hígado para una mejor función, su contenido de potasio ayuda a eliminar toxinas, esto al efecto diurético que hace en el organismo, mejora la circulación sanguínea, además de regular el azúcar en la sangre (FIRCO 2018).

#### 2.2.1 Producción Nacional

De acuerdo con SIAP (2024) México en el 2023 logro posicionarse en los primeros países de producción de la berenjena a nivel mundial que de acuerdo con sus necesidades de este cultivo siendo Sinaloa con 65 mil 486 toneladas y Nayarit con 12 mil 779 toneladas, los estados más productores. Sin embargo, por su diversidad a lo largo del territorio mexicano otros estados que también realizan aportaciones a la producción (Tabla 1), son;

**Tabla 1.** Producción nacional del cultivo de berenjena.

Rank	Entidad federativa	Región	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2022-2023
1	Sinaloa	Noroeste	65,486	-25.7
2	Nayarit	Noroeste	12,779	59.5
3	San Luis Potosí	Centro-Occidente	5,222	-13.4
4	Sonora	Noroeste	3,483	95.2
5	Yucatán	Sur-Sureste	1,841	37.9
6	Michoacán	Centro-Occidente	1,258	4.5
7	Baja California Sur	Noroeste	146	-55
8	Morelos	Centro	138	-11.1
9	Puebla	Centro	104	0.9
<b>Total nacional</b>			<b>90,457</b>	<b>-15.5</b>

(SIAP 2024).

En 2023 la producción nacional alcanzo 90,457 toneladas. Iniciando su cosecha en el mes de diciembre, teniendo en disposición en el mercado en enero, febrero y marzo. SIAP (2024).

México ha sido un país que ha estado incrementando su mercado internacional exportando la berenjena en fruta fresca y refrigerada en un 98.4% a Alemania, Estados Unidos y Reino Unido, tan solo en el periodo 2018 – 2023. Posicionándose en el decimoctavo productor mundial. (SIAP 2024).

## 2.2.2 Producción mundial.

A pesar de su bajo consumo de la berenjena en algunos países, se tienen registro de una producción para exportación a países que tienen mayor demanda dependiendo su popularidad de consumo o estudio realizado hacia este cultivo.

Desde el descubrimiento de la berenjena China sigue siendo el mayor productor del mundo con 37.5 millones de toneladas de producción al año, aportando un 61.6 %, India toma el segundo lugar con el 21 % alrededor de 12.8 millones de toneladas, siguiendo la lista Egipto con 1.86 millones de toneladas posicionándolo en tercer lugar esto contribuye el 3.1%, Turquía alrededor de 818 mil toneladas. Estos países reflejan la producción global que se realizó en el año 2023 (FAO 2023).

## **2.3 Características botánicas del cultivo de berenjena**

### **2.3.1 Sistema radical.**

Las raíces llegan a ser moderadamente, gruesas y fuertes, lo que les ayuda a penetrar de 90- 120 cm de profundidad en el suelo, cuando las condiciones del suelo favorecen el desarrollo radicular (Martínez y Fornaris 2006).

### **2.3.2 Tallo**

Con un diámetro variable, característica herbácea, leñoso, con brotes espinosos o sin espinas dependiendo la variedad, con crecimiento constante y erecto, la altura de esta planta varía de .4 a 1.5 m de altura (Hassan et al., 2015).

### **2.3.3 Hoja**

Tiene hojas alternadas con pecíolos largos, grandes, ovaladas con nervaduras espinosas y con color violeta, en su envés presenta vellosidad en tono grisáceo, midiendo de 6 a 9 pulgadas (Guillermo J, 2014).

### **2.3.4 Flor**

La berenjena tiende a florecer en racimos de tres a cinco flores, una de ellas es hermafrodita. Cuenta con un pedicelo corto desde el tallo hasta el cáliz, dando frutos comerciales. Sus pétalos tienen color distinto dependiendo la variedad, siendo las más comunes moradas, blancas o violetas, el cáliz es espinoso, el ovario está dividido en dos lóbulos. El pedúnculo es corto, pero llega a medir 7 cm de largo (Martínez y Fornaris 2006).

### **2.3.5 Fruto**

Este es la parte más importante para su comercialización, suele ser alargada o redonda, en distintos colores como negro- morado, blanca o verde, estas características dependen de cada variedad a utilizar (Intagri, 2021)



### 2.3.6 Semilla

Las semillas son estructuras redondas y diminutas que se encuentran dentro del fruto de la berenjena, teniendo color café- marrón, crecen con una placenta y se localizan en todo el fruto teniendo una medida de 3-4 x 2.5 mm (Laserna, 2013).

## 2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de la berenjena

De acuerdo con investigaciones realizadas explican (tabla 2) un contenido significativo de ácido clorogénico, considerado un fenol, compuesto más abundante en las hortalizas, ese mismo le da el color (morado) al fruto, además cuenta con flavonoides del tipo de antocianinas, fitoquímicos que derivan antioxidantes. (Echeverría 2017).

**Tabla 2.** Composición por cada 100 gramos de porción comestible. (Consumer 2025).

Contenido	Cantidad
Energía	20 kcal
Agua (ml)	92.2 ml
proteína	0.7 g
Grasas	0.2 g
Hidratos de carbono	3.8 g
Fibra	2.4 g
Potasio	262 mg
Calcio	10 mg
Fosforo	26 mg
Magnesio	12 mg
Vitamina C	4 mg
Vitamina A	9 µg
Folatos	19 µg

\*µg= microgramos (millonésima parte de un gramo)

## 2.5 Clasificación taxonómica de la berenjena.

De acuerdo con (Terreros 2014), (Luis J. 2021) describen clasificación taxonómica como:

**Dominio:** Eucariota.

**Filum:** Chloroplastida

**Reino:** Plantae

**Sub- reino:** viridaeplantae

**División:** Magnoliosida

**Super-división:** streptophyta

**Super grupo:** Archaeplastida

**Orden:** Solanales

**Familia:** Solanaceae

**Género:** *Solanum* L.

**Especie:** *Solanum melongena* L

**Nombre común:** Berenjena.

## 2.6 Principales plagas y enfermedades en el cultivo de berenjena

### 2.6.1 Plagas de mayor importancia en el cultivo de berenjena.

**Tabla 3.** Principales plagas en el cultivo de berenjena.

PLAGAS	DAÑOS
Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> )	Su daño directo es su manera de alimentación, chupando la savia y provocando clorosis en la planta, ubicándose en el envés de la hoja. (Espinoza et al., 2014).
Araña roja ( <i>Tetranychus urticae</i> )	Insecto coloca en el envés de las hojas, provocando amarillamiento, evitando la fotosíntesis en las plantas. (Armstrong et, al 2016)
Pulgón ( <i>Myzus persicae</i> )	Áfido que se encuentra en las hojas jóvenes, su daño principal chupara la savia, atrasan el crecimiento, además de ser trasmisor de virus. (Instituto Nacional Tecnológico, 2016)
Trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> )	Insecto que daña al cultivo, succionando el tejido de las hojas y en fruto causa decoloración, lo necrosa, además de causar infecciones de otros patógenos. (Syngenta, 2023).

### 2.6.2 Enfermedades causadas por hongos fitopatógenos.

**Tabla 4.** Principales enfermedades causadas por hongos.

HONGOS	DAÑOS
Antracnosis	Causada por especie de <i>Colletotrichum</i> . Afecta a frutos inmaduros, manifestándose con lesiones hundidas, color castaño y van aumentando de tamaño. Al mismo tiempo afectando a tallos y hojas con manchas necróticas. (A. González, 2016)
Moho gris ( <i>Botrytis cinérea</i> )	Hongo necrotrófico, se encarga de liberar compuestos que interfieren en las células vegetales nutriéndose de su contenido, provocando lesiones de color gris-marrón, localizándose en tallos, hojas, flores y frutos. (Koppert México 2025).
Verticilosis ( <i>Verticillium spp</i> )	Reducción en vigor regularmente en plantas jóvenes, marchitez total o parcial, en horas de presencia de calor. En hojas adultas causa clorosis, seguido por enrollamiento y necrosis, obstruye haces vasculares, hasta causar la muerte. (Riquelme et al.,2021).
Tizón temprano ( <i>Alternaria solani</i> )	Hongo que afecta a tallos y hojas, presentándose con manchas circulares en color café, con apariencia necrótica en el centro, en los bordes de la hoja se vuelven amarillentas y cloróticas. (Rosa, 2016).

### 2.6.3 Bacterias causantes de enfermedades en el cultivo de berenjena.

**Tabla 5.** Enfermedades ocasionadas por bacterias.

ENFERMEDAD.	SINTOMAS.
Marchitez bacteriana ( <i>Ralstonia solanacearum</i> )	Causa interceptan tejidos vasculares, interfiriendo en el crecimiento, mostrando marchitez, amarillamiento y arrugamiento en hojas. Además, en los tallos se observa clorosis intervenal. (CNRF. 2014)
Podredumbre blanda ( <i>Erwinia spp</i> , <i>Pectobacterium</i> y <i>Pseudomonas</i> )	Bacteria que degrada moléculas de las células vegetales, causando manchas acuosas que se vuelven blandas y hundidas. el tejido después de las manchas se decolora y se vuelve pastoso, con un color de crema a negro. (UW PDDC. 2024)

## 2.7 Requerimientos edafo-climáticos.

### 2.7.1 Temperatura.

Ya que este cultivo es de climas cálidos a secos, tiende a ser tolerante a climas con temperaturas altas. La berenjena no tiene un desarrollo adecuado con humedad alta presente, ya que esto le da entrada a diferentes plagas y enfermedades que pueden dañar la planta (Prohens 2015). De acuerdo con INFOAGRO (2002), en las etapas de desarrollo de la berenjena requiere distintas temperaturas (Tabla 6), esto va de acuerdo con sus necesidades a lo largo de sus fases de desarrollo de la planta.

**Tabla 6.** Temperatura °C mínima, optima y máxima para el cultivo de berenjena

Fases del cultivo	Optima	Mínima	Máxima
Germinación	20 - 25	15	35
Crecimiento vegetativo	20 - 27	13 - 15	40 – 45
Floración y fructificación	20 - 30	10 – 12	40 - 45

INFOAGRO (2002).

### **2.7.2 Clima**

Estos factores que están presentes en el ambiente, pero no podemos controlar completamente, la berenjena tiene un rango de tolerancia de 21 a 29 °C. Esta condición también puede aplicar para cultivos como la papa, tomate y pimiento, siendo de la misma familia tienden a tener un trato similar (Bolaños 2018).

### **2.7.3 Luminosidad.**

*Solanum melonjena* L. planta estricta en cuanto a la luz que recibe, al día requiere de 10 a 12 horas diarias, esto para desarrollo reproductivo y vegetativo, en caso de que no se cumpla con esta necesidad tiene efectos severos en cuanto a su periodo de floración, produce aborto de flores y no cuenta con una polinización correcta, por ende, se refleja en la producción y crecimiento del fruto, además aumenta su desarrollo vegetativo (Alarcón et al., 2021).

### **2.7.4 Suelo.**

El suelo es un factor importante, para un óptimo cuidado y manejo de la berenjena. Los suelos francos y arenosos son adecuados para un desarrollo radicular. Además, debe contar con un pH de un rango de 5.5 a 7.2 (Masabni et al., 2017). De acuerdo con Martínez (2021) la berenjena en suelos ácidos suele causar daños a la planta, interfiriendo en su crecimiento y por ende en la producción.

## **2.8 Solución nutritiva Steiner.**

El agua el oxígeno, son los elementos principales para llevar a cabo una nutrición, estos presentes de forma iónica, adecuada para los cultivos, integrando compuestos orgánicos, como son los quelatos de fierro, además de micronutrientes (Steiner, 1968).

Una solución nutritiva Steiner, consta de diluir nutrientes esenciales acorde al desarrollo y crecimiento del cultivo. Este método compone macronutriente como: nitrógeno, fósforo y potasio, y micronutrientes como lo es: magnesio, azufre, boro, zinc.

Sabiendo así, que cada planta dispone de un mínimo y un máximo de tolerancia, en cuanto a los elementos otorgados, por ello se deben realizar análisis previos a la aplicación, ya que puede repercutir negativamente a las plantas. (SADER, 2022).

Este método debe llevar una serie de requisitos que deben llevarse a cabo para que este tenga una respuesta factible.

- Misma relación mutua de aniones.
- Relación mutua de cationes.
- Misma presión osmótica.
- Mismo pH.
- Conductividad eléctrica.

En 1980 Steiner contribuyó con una solución universal (tabla 7), de acuerdo con las proporciones de aniones y cationes

**Tabla 7.** Concentración (Meq/L) para aniones y cationes, (Steiner, 1980).

<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>
60%	5%	35%
<b>Ca<sup>++</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Mg</b>
45%	35%	20%

## 2.9 Nanotecnología en la agricultura.

Nanotecnología (NT) ciencia avanzada que ha ayudado en diversas aplicaciones en la agricultura, eficientando la producción de cultivos, disminuyendo pérdidas, además de contribuir a el uso excesivo de agroquímicos. La NT se relaciona con la agricultura en una única manera como lo es: encapsulamiento de fertilizantes mediante su ingrediente activo, herbicidas, fungicidas, insecticidas y nutrientes. Para incrementar este proceso los NT lo integran en matrices tomando el control de liberación del material aplicado (Lateef et al., 2016). Por su parte, Cota et al., (2013) demostró que este método de encapsulado da como resultado un mejor aprovechamiento de ingredientes, reduciendo pérdidas, como la lixiviación, evitando así la contaminación y toxicidad en los agroecosistemas.

La relación planta – nanotecnología ha sido estudiada a lo largo de su descubrimiento de dicho avance, por ello, diversos autores han realizado experimentos para encontrar un balance de forma, tamaño y concentración. Este material tiene un tamaño de escala menor a 100 nanómetros (nm) creándose a partir de moléculas y átomos, tomando forma de nanopolvos, nanocristales o nanoracimos (Lira-Saldivar et al., 2018).

Las características fisicoquímicas, tales como el área superficial específica, la morfología y la carga superficial de las nanopartículas (NP), son determinantes cruciales en las vías de transporte e interacción dentro de los tejidos vegetales. La pared celular, que presenta una carga superficial negativa, establece interacciones electrostáticas con las nanopartículas cargadas positivamente. NP con tamaños entre 3 y 5 nm son capaces de atravesar la pared celular en raíces mediante mecanismos como presión osmótica, fuerzas capilares o penetración a través de células epidérmicas. NP menores a 5 nm pueden ingresar mediante aplicaciones foliares por los estomas o cutículas, mientras que aquellas mayores a 10 nm predominan en la entrada estomática. Partículas de tamaño entre 10 y 50 nm se movilizan preferentemente por la vía simplástica, y aquellas entre 50 y 200 nm lo hacen principalmente a través de rutas apoplásticas. Estos mecanismos permiten que las nanopartículas intervengan en procesos vitales como la entrega dirigida de nutrientes, moléculas y agroquímicos, mejorando la absorción y eficiencia dentro de la planta. Esta distribución selectiva según el tamaño nanopartículas optimiza su función agrícola a escala celular (Ali et al., 2021).

### **2.9.1. Aplicaciones de uso de Nanotecnología en la agricultura.**

#### **2.9.1.1 Nano- fertilizantes.**

En estudios realizados han demostrado que, para una mejor aprovechamiento y efectividad de nanotecnología (NT), para este método de aplicación se pueden absorber en concentraciones de 5 ppm y en tamaño de 20 nm, esto favoreciendo así el crecimiento vegetal (Sairam et al., 2016).

Cuando estos son aplicados de manera foliar en las plantas, distribuyéndose por toda planta mediante floema, ayudando así en esta aplicación incrementando la



fotosíntesis, biomasa del cultivo, además del estrés por temperatura. Por otro lado, una oportunidad más para su uso es impulsando la germinación de semillas, acelerando este proceso (Lira et al., 2021).

#### **2.9.1.2 Nano- plaguicidas.**

Actuando como nenoencapsulados, realizando la función de liberar del ingrediente activo del producto sea lento y preciso en su aplicación, ayudando a los productores a menor cantidad químicos, siendo amigable con el medio ambiente (CIQA 2021).

La síntesis es un proceso donde ayudan a las nanopartículas de extractos naturales, estos encontrándose en plantas específicas que, utilizando los metabolitos presentes para incrementar la actividad antimicrobiana, disminuyendo enfermedades y plagas presentes en los cultivos de interés, así utilizando avances de NT y procesos ecológicos (Lira-Saldivar et al., 2018).

#### **2.9.1.3 Nanotubos de carbono.**

El carbono siendo un elemento encontrado en la naturaleza, posee diversas alotropías, entre ellas el grafito, diamante, fullerenos, nanotubos de carbono, y grafeno (Serag et al., 2011). El carbono tiene estructuras, constituidos por capas de grafitos, enrolladas de forma tubular, que presentan un esquema hexagonal, ligado con átomos de carbono, dando así estructuras de pared simple en forma de cilindros individuales, y de paredes múltiples, compuestos por grupos de cilindros (Ayutsede et al., 2006).

En la agricultura moderna se busca integrar prácticas que ayuden a una producción redituable, sobre todo métodos sustentables con el medio ambiente, ya que con el paso de los años se vuelven más escasos los factores bióticos y abióticos. Las herramientas científicas han estado avanzando para estas obras, sin duda los NTC son un equipamiento más a la agricultura, Arumugam et al., (2025) menciona que este nanomaterial impulsa a la estructura del suelo, teniendo una mejor aeración aumentado la calidad de raíz y rendimiento de los cultivos, además de involucrarse a propiedades hidráulicas evitándoles estrés a la planta, al mismo tiempo facilita la aplicación de nutrientes y composiciones químicas (pesticidas, herbicidas, fungicidas, etc). Destacando con investigaciones impulsa a los microorganismos más eficientes

su relación microbiana, manteniendo a las plantas en un desarrollo contaste y salud vegetal.

#### **2.9.1.4 Nanotubos de carbono de pared múltiple.**

Los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs) nanomateriales que han evolucionado a la agricultura, relacionándose con el crecimiento vegetal, esto mediante la regulación del metabolismo de carbono y nitrógeno, mejorando la asimilación de nutrientes. Destacando con la capacidad de acceder a la raíz además de, estimular a genes transportadores de nitrato, eficientando el uso de fertilizantes (Singh et al., 2025).

Fonseca et al., (2024) demostraron en la aplicación de MWCNTs en el proceso de germinación de la semilla acelerando este proceso, además de tolerar el estrés, contribuyendo en el manejo de la degradación del suelo.

### **2.9.2 Biofertilizantes**

La investigación científica en biofertilizantes ha experimentado un crecimiento significativo, focalizándose en la caracterización físico-química de los formulados, la identificación y optimización de cepas microbianas promotoras del crecimiento vegetal, así como en la evaluación de sus efectos sobre la fertilidad de diversos tipos de suelos y rendimiento de cultivos. Estas investigaciones buscan generar evidencia científica sólida que valide la eficacia y aplicabilidad de los biofertilizantes como alternativas o complementos a la fertilización química convencional, aspirando a su sustitución progresiva en sistemas agrícolas sostenibles (Mamani, 2023; Palacios-López, 2023).

#### **2.9.2.1 Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal.**

En la rizosfera existe diversidad de organismos, que tiene alguna correlación entre organismos. Las bacterias son seres vivos que desde su existencia han buscado relación planta- bacteria, sin embargo, hay diversos grupos donde su interacción puede llegar a afectar de manera negativa a las plantas.

En la actualidad se dice que las plantas han tenido una evolución adecuada dependiendo al ambiente, pero sin la sincronización de bacterias su adaptación y desarrollo no sería posible, ya que estos organismos ayudan a su crecimiento, producción y bienestar. Existen dos maneras distintas donde las bacterias benefician

a las plantas, la manera directa: hacen asimilables nutrientes esenciales como es el nitrógeno, solubilizan potasio y fósforo, además de la fitoestimulación. Las plantas siempre están expuestas a fitopatógenos que afectan de distintas maneras negativas, no obstante, estas bacterias de manera indirecta se relacionan con la planta para activar su sistema inmune, además de solucionar problemas de estrés abiótico. (Velasco- Jiménez et al., 2020).

### **2.9.2.2 Mecanismos de acción de las rizobacterias.**

Autores como Arreola et al., (2023) mencionan que las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) Constituyentes de microorganismos de actividad microbiana, que mejora el desarrollo fitológico mediante mecanismos tanto directos como indirectos.

Los mecanismos bioquímicos y fisiológicos principales que emplean las PGPR incluyen la biosíntesis y secreción de fitohormonas como auxinas (ácido indolacético, AIA), giberelinas y citoquininas, que regulan procesos celulares fundamentales, tales como la elongación y proliferación celular, la ramificación radicular y la regulación estomática, incrementando así la captación de agua, nutrientes y promoviendo un aumento significativo en la biomasa. Además, la actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1- carboxilato (ACC) desaminasa es crucial, ya que disminuye los niveles de etileno, una fitohormona cuya acumulación excesiva inhibe el crecimiento y exacerba el estrés en condiciones adversas como la sequía y la salinidad, aumentando con ello la capacidad adaptiva de las plantas (Rodríguez et al., 2020).

Otros mecanismos relevantes incluyen la solubilización y mineralización de macronutrientes esenciales, particularmente fósforo y nitrógeno, facilitando su disponibilidad bioasimilable para la planta, así como la producción de sideróforos que movilizan hierro y ejercen acción antagonista frente a fitopatógenos en la rizosfera. Adicionalmente, las PGPR incrementan la capacidad antioxidante de las plantas mediante la regulación enzimática de antioxidantes clave como el superóxido (SOD) y la catalasa (CAT), contribuyendo a la mitigación del estrés oxidativo inducido por factores ambientales adversos (Ahmad et al., 2012)

Aragón et al., (2025) realizó investigaciones actuales evidencian que estas bacterias modulan la transducción de señales hormonales, optimizando la morfología y arquitectura radicular, lo que se refleja en un mejor estado hídrico, un incremento en

la concentración de osmoprotectores como la prolina y un mayor contenido clorofílico traduciéndose en mejoras sustanciales en rendimiento y calidad de cultivos agrícolas relevantes como las solanáceas (tomate, berenjena), fabáceas (frijol, soya), cucurbitáceas (melón, calabaza) entre otros. Bajo condiciones de estrés hídrico y salino. La incorporación de estas comunidades microbianas como biofertilizantes, junto con su potencial sinergia con otras tecnologías agrícolas emergentes, representa una estrategia innovadora para la gestión sostenible y eficiente de los cultivos, especialmente en zonas con limitaciones hídricas y nutricionales.

### **2.9.2.3 Rizobacterias del género *Bacillus* spp.**

Bacterias gram-positivas (tinción Gram) del género *Bacillus*, con rango de tamaño celular de 0.5 a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) distinguiéndose por su naturaleza que, pueden ser variadas, tomando formas convexas, redondas a formas indistintas, con estructuras blandas a rugosas. Teniendo movimiento consecuencia de su estructura (flagelos peritricos), produciendo esporas que les ayudan a su supervivencia en el ambiente. Teniendo un desarrollo aerobio, aunque en algunas ocasiones suelen ser anaerobios (Harirchi et al., 2022).

Autores recientes mencionan que, estas bacterias llegan a realizar el proceso de fijación de nitrógeno, además de la solubilización de fosfatos, creando sideróforos y fitohormonas como la del crecimiento. Cumple el papel de control de enfermedades, siendo una barrera más de protección para la planta. Relacionándose en procesos metabólicos y genéticos para una mejor simbiosis de planta- bacteria. La ciencia de la biotecnología ha interactuado con estos microorganismos para crear biofertilizantes y biopesticidas utilizando como ingrediente activo a *Bacillus*, ayudando a realizar prácticas ecológicas. El biocarbón en relación conjunta con este género de bacterias, incrementa la fertilidad del suelo, ayudando a las practicas agronómicas evitando la lixiviación de nutrientes además de eficientar el crecimiento vegetal (Patani et al., 2024; Roy et al., 2024).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El presente estudio de investigación se realizó bajo condiciones de invernadero perteneciendo a el Departamento de Horticultura, ubicado dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad-Laguna (Figura 1), con una altitud 25°33'25"N y 103°22' 31"W, se localiza a una altura de 1,120 msnm, ubicada a un costado del Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe, en la ciudad de Torreón Coahuila, México

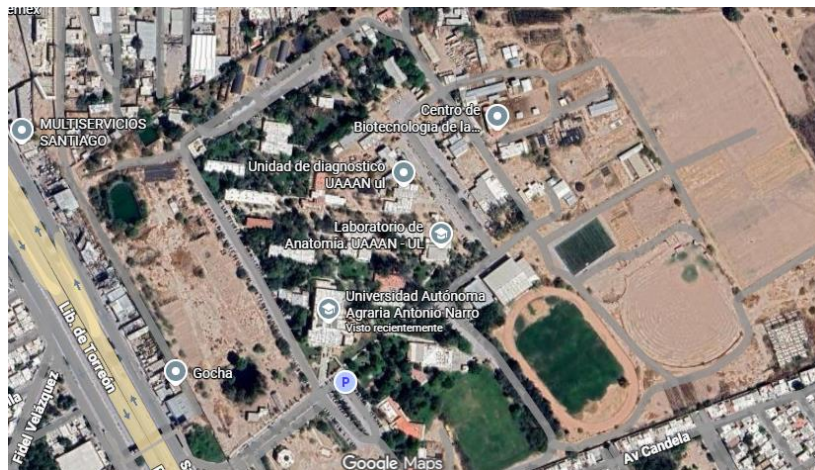


Figura. 1. Localización del experimento

#### 3.2 Material vegetal y siembra

Como material vegetal se utilizó semilla de berenjena (*Solanum melongena* L), de la variedad Black Beauty, de la casa comercial Kristen Seed (Figura 2), teniendo una pureza del 99% y 85% de germinación, con 1% de material inerte.



Figura. 2. Semilla de berenjena

### 3.3 Nanotubos de carbono

Este nanomaterial pertenece a la empresa Sigma-Aldrich (Figura.3) el cual contenía 1 gramo de NTC, donde se utilizó 0.1 gramo por litro de agua desionizada.



**Figura. 3.** Nanotubos de Carbono.

### 3.4 Material microbiológico.

Para la realización de este experimento se usaron bacterias del género *Bacillus* spp (Figura. 4) el cultivo de estas bacterias se realizó en las instalaciones de la UAAAN – Saltillo, el frasco contenía 10 ml de bacterias por litro. Aplicando 25 ml de bacterias por planta.



**Figura. 4.** Medio de cultivo líquido con rizobacterias

### **3.4 Manejo del cultivo.**

#### **3.4.1 Método de siembra y germinación.**

Para el proceso de germinación de semilla, se utilizó una charola germinadora con 200 cavidades, realizando una preparación de sustrato de peat - most 70% y perlita al 30%, colocando una semilla por orificio.

Una vez teniendo la charola con la semilla, se adecuó en condiciones de invernadero, con una temperatura de 22° a 32°, aplicando riegos de acuerdo con su necesidad hídrica, así obteniendo una plántula apta para este experimento.

#### **3.4.2 Establecimiento del experimento.**

Una vez teniendo el área establecida en el invernadero, se preparó el material a utilizar, como lo es la estructura de riego por goteo (cintilla, estacas y tubin). Se realizó una mezcla homogénea de sustrato de 70% arena y 30% perlita, colocando el sustrato en bolsas de polietileno. Una vez llenadas las bolsas se colocaron las bolsas en el área dejando una distancia de 15 a 20 cm entre bolsa.

#### **3.4.3 Trasplante.**

Una vez teniendo una plántula adecuada en tamaño y vigor, se trasplanto en las bolsas previamente colocadas, esta actividad se realizó a los 20 días después de siembra.

#### **3.4.4 Riego.**

De acuerdo con las necesidades hídricas el cultivo, se realizaron riegos diarios de aproximadamente 1 L de agua o solución nutritiva. Cabe resaltar que se mantuvo un control de medida de pH y Conductividad eléctrica ya se mantenía en cambio constante.

#### **3.4.5. Identificación y etiquetado de tratamientos.**

Para la realización de bloques completamente al azar, se colocaron etiquetas de distintos colores para identificar a cada planta de acuerdo con el tratamiento, la repetición y número de planta.

### 3.4.6 Tutorio.

Sabemos que este cultivo requiere un soporte para un mejor desarrollo y evitando daños a la planta, se colocaron ganchos con rafia y anillo como apoyo.

### 3.4.7 Deshoje y desbrote.

Para estas labores culturales, se mantenía un control sanitario eliminando hojas viejas o contaminadas por algún patógeno. El desbrote se retiraban los chupones de la planta ya que eran parte vegetativas que no se necesitaban.

### 3.4.8 Aplicación de productos fitosanitarios y estimulantes.

Cuando se presentaba alguna enfermedad o anomalía por plagas se realizaban aplicaciones de productos de acuerdo con las necesidades que se presentaban. (tabla 7).

**Tabla 8.** productos fitosanitarios y estimulantes aplicados para control de plagas y enfermedades

<b>Función</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Dosis</b>
Insecticida / acaricida	Dimetoato	Deltapyr 40 C. E	1.5 ml/L de agua
Insecticida	Imidacloprid	Confidel ® 350 SC	2.5 ml/L de agua
Desarrollo vegetativo	Quelatos	IonGro- Complex	1.5 ml/ L de agua.
Fertilizante y mejorador de suelos.	NPK	Enerfer- Bio	2.5 ml/ L de agua.
Fungicida	Propamocarb clorhidrato	Pitstop 720	1.5 ml/ L de agua.
Bioestimulante	Quelatos / Fitohormonas	Maxi- Grow Excel	2 ml/ L de agua.
Estimulación (floral)	Boro/ Molibdeno	Agroplex B- Mn	2 ml/ L de agua.
Insecticida botánico	Azaridachtina	PHC ® NEEEM	2.5 ml/ L de agua.
Fungicida sistemico	Azoxistrobin/ difenoconazole	Amistar ® Gold	1.5 ml/ L de agua.
Insecticida	Lambdacihalotrina.	Karate	2 ml/ L de agua.



### 3.5 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados (tabla 9) para este experimento de estudio se realizaron bajo condiciones de invernadero, con bloques completamente al azar, estableciendo 7 tratamientos, 12 repeticiones y 4 hileras, colocando 21 plantas por hilera, dando un total de 84 plantas de berenjena, previamente marcadas e identificadas con etiquetas. Además, ayudando a su nutrición se adecuó una solución nutritiva Steiner en concentración al 100 % y 70%. De acuerdo con la información proporcionada a la investigación previa se realizaron 3 aplicaciones de Nanotubos de carbono (100 ppm), aplicando así 3 aspersiones por planta tratando de cubrir con totalidad el área foliar de la planta. En cuanto a la aplicación de las rizobacterias fue directamente a la parte de raíz de la planta.

**Tabla 9.** Descripción de tratamientos aplicados.

Sol. nut. 100%		Aplicaciones después de trasplante.
Tratamiento 1	Testigo	1er 30 días
Tratamiento 2	Rizobacterias	
Tratamiento 3	NTC	
Tratamiento 4	Rizobacterias + NTC	2da 56 días
Sol. nut. 70%		
Tratamiento 5	Rizobacterias	3ra 85 días.
Tratamiento 6	NTC	
Tratamiento 7	Rizobacterias + NTC	

### 3.6 Variables agronómicas evaluadas

Con la finalidad de saber los resultados de este experimento, se tomaron mediciones agronómicas descritos en la siguiente (Tabla 10) correspondientes a la planta y fruto, todo de acuerdo con el tratamiento y su repetición de la planta.

**Tabla 10.** Descripción y muestras vegetales utilizadas para las variables agronómicas.

<b>Estructuras vegetales</b>	<b>Descripción/ Variables agronómicas</b>
<b>Diámetro del tallo</b>	Para esta variable se utilizó un vernier para tener más precisión de este dato, midiendo la base del tallo, la unidad de medida fue en milímetros.
<b>Biomasa fresca y seca de la planta.</b>	Teniendo la planta libre de sustrato se colocó en una báscula para que nos diera estos datos en (g). Para obtener el peso seco se expuso a luz solar para que se deshidratara, finalmente se adquirió este dato.
<b>Peso seco de la raíz</b>	Para tener ese dato se dejó reposar por unos días para que se deshidratara la raíz, previamente con ayuda de una báscula se obtuvo el peso (kg)
<b>Largo de la raíz</b>	Para obtener esta medida se preparó adecuadamente la raíz quitando el excedente del sustrato midiendo con un flexómetro (cm).
<b>Peso fresco de la raíz</b>	Previamente lavada y libre de sustrato, posteriormente se obtuvo el peso (Kg).
	<b>Variables de medida de Calidad</b>
<b>Peso seco del fruto</b>	Previamente a cosecha del fruto se cortó en pedazos pequeños, para colocarlos en una incubadora para deshidratarlos, previamente pasado el tiempo se pesó el material restante en gramos.
<b>Peso del fruto</b>	Se realizó de acuerdo con la cosecha obtenida, el fruto fue medido con una báscula pesado en g.
<b>Firmeza</b>	Una vez teniendo el fruto se tomó esta medida en kilogramos se utilizando un instrumento llamado penetrómetro.
<b>Vitamina C</b>	Para determinar este dato, se llevó a cabo el método Thielmann, que consta de una reacción química de óxido- reducción, donde el cambio de color indica el punto de titulación, utilizando reactivos y muestras en misma cantidad (mg/ 100 g)
<b>Sólidos solubles totales (° Brix)</b>	Manipulando el refractómetro, tomando una muestra el fruto y colocándolo en este instrumento y observándolo contra luz para tener la medida.
<b>Rendimiento</b>	Una vez realizada la cosecha se contabilizaron y pesaron los frutos en (g) para determinar el rendimiento obtenido por planta.

### **3.7 Análisis estadístico**

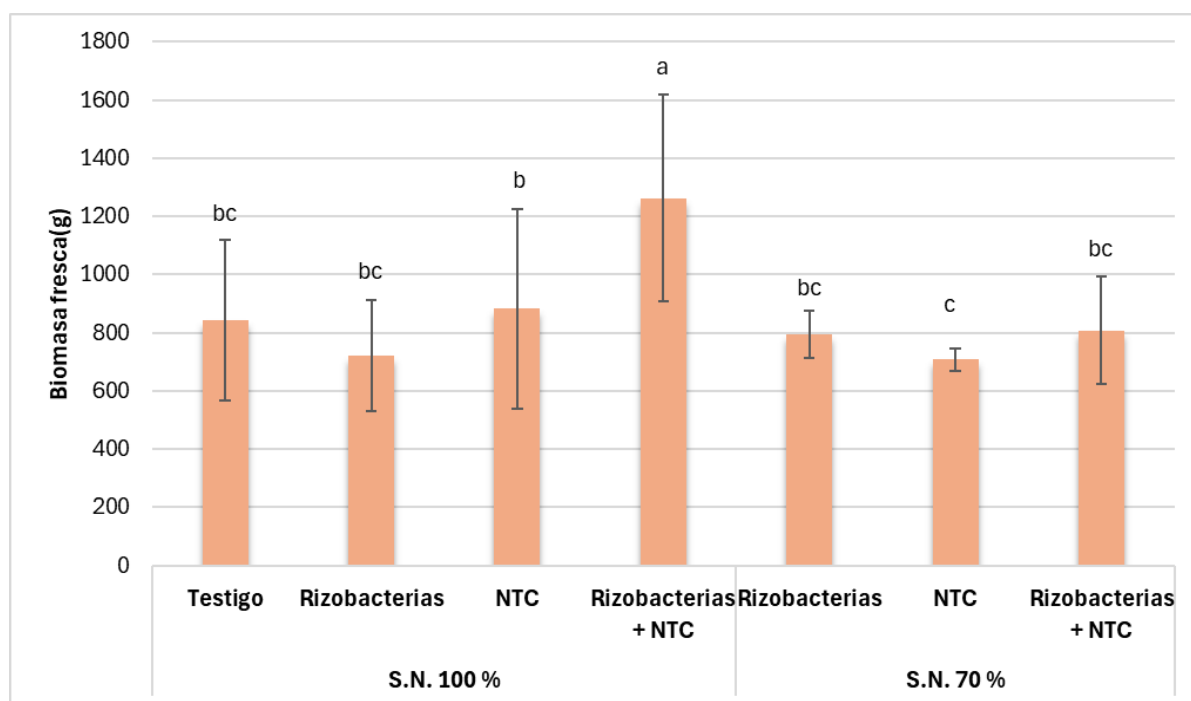
Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Variables agronómicas evaluadas en berenjena.

#### 4.1.1 Biomasa fresca de la planta (g)

De acuerdo con el análisis estadístico realizado, se observa en la (Figura 5), que la aplicación de SN al 100% el tratamiento de rizobacterias + NTC (T4) presenta mayor biomasa fresca hasta en un 49% más, comparado con el testigo (T1), en cuanto a los tratamientos de rizobacterias no tienen ninguna diferencia en incremento entre ellos. Respecto la solución nutritiva al 70% de Rizobacterias (T5), y el tratamiento de rizobacterias + NTC, no tuvieron ninguna diferencia entre sí, pero en comparación con la aplicación de NTC (6), si hubo una diferencia de disminución de biomasa fresca.



**Figura. 5** Resultados de los tratamientos y su interferencia de biomasa fresca (g)

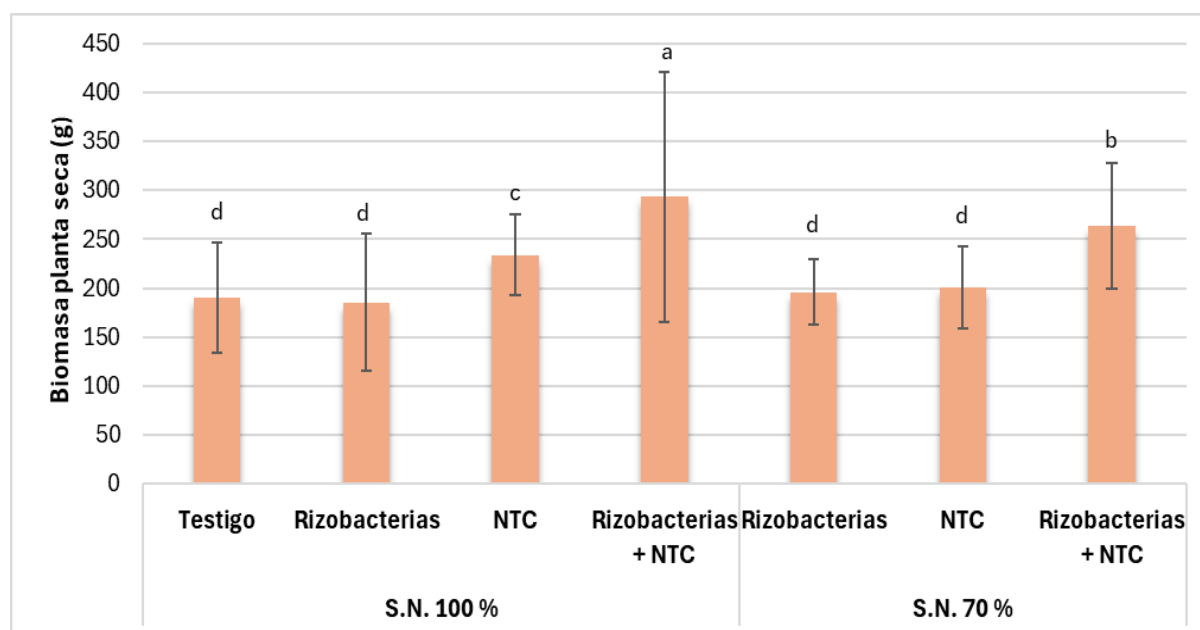
De acuerdo con López et al., (2021), realizaron una investigación similar, pero con el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum*) bajo condiciones de estrés, en sus tratamientos utilizaron NTC y grafeno (GP) en concentraciones bajas demostrando que aumentó significativamente la altura de planta, además de incrementar el contenido de B en las hojas, esto con una concentración de NTC 500 mg L<sup>-1</sup> con respecto a el control de salinidad, variando sus concentraciones y tratamientos aplicables variando peso o contenido nutricional.

Abdelkrim et al., (2023) afirman el impacto que realizan las bacterias inoculadas de *Pseudomonas fluorenses* y *Bacillus subtilis* en pimiento aplicando desde la etapa inicial de la planta, teniendo condiciones de invernadero, resultando un aumento de biomasa fresca de la planta comparado con su tratamiento de testigo. Esto lo relacionen a la producción de fitohormonas causadas por estos microorganismos, mejorando la solubilización de fosfatos.

#### 4.1.2 Biomasa seca de la planta (g)

Los resultados obtenidos en esta variable, (Figura 6) se analiza que, los tratamientos que contienen rizobacterias + NTC tienen un incremento en ambas soluciones nutritivas, quiere decir que estos componentes tienen una buena interacción teniendo una diferencia de un 10.1 % entre los dos tratamientos, para incrementar la biomasa seca en la planta.

Sin embargo, los demás tratamientos son similares entre sí, ayudan en un nivel intermedio de aumento de esta variable, aun teniendo una solución presente con dos concentraciones distintas siguen dando los mismos efectos.



**Figura. 6** Resultados en la aplicación de bioinsumos en la biomasa seca de la planta (g)

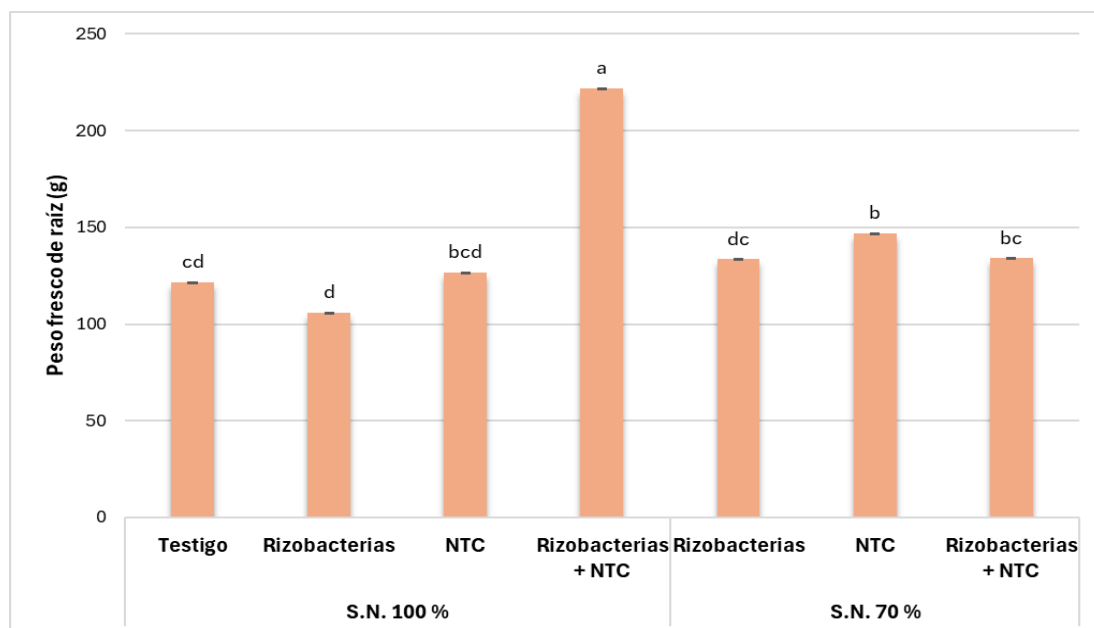
Dicho con palabras de Guillen et al., (2021) su estudio realizado en tomate, teniendo un patógeno presente (*Alternaria solani*) en la aplicación de NTC de pared múltiple,

no solo encargándose de la enfermedad, si no también aumento en rendimiento y biomasa seca del tallo, asegurando el proceso de fotosíntesis en la planta, generando un incremento en biomasa en general.

Sharman et al., (2025) describe la simbiosis de nanomateriales de carbono y rizobacterias. Refiriendo que los NTC tienen su función en los cambios metabólicos como catalizador, esto aumentando en biomasa y rendimiento. Sin embargo, la inoculando bacterias promotoras de crecimiento optimizan la disponibilidad de nutrientes y estimulando fitohormonas, provocando el aumento de biomasa en el cultivo.

#### 4.1.3 Peso fresco de raíz (g)

En el peso fresco de la raíz de este estudio (Figura 7), indica que los tratamientos con una solución nutritiva al 70% resalta el tratamiento de NTC esto nos dice que esta nanotecnología por si sola da un resultado positivo en la raíz, en comparación con las demás aplicaciones. Pero en contraste con el tratamiento de rizobacterias + NTC (T4) con una aplicación de SN al 100 % resalta entre todos los tratamientos ya que se distingue una asociación conjunta a mayor absorción de nutrientes y agua por el sistema radical del cultivo de berenjena.



**Figura. 7** Datos obtenidos en la ejecución de tratamiento, afectando el peso fresco de la raíz (g)

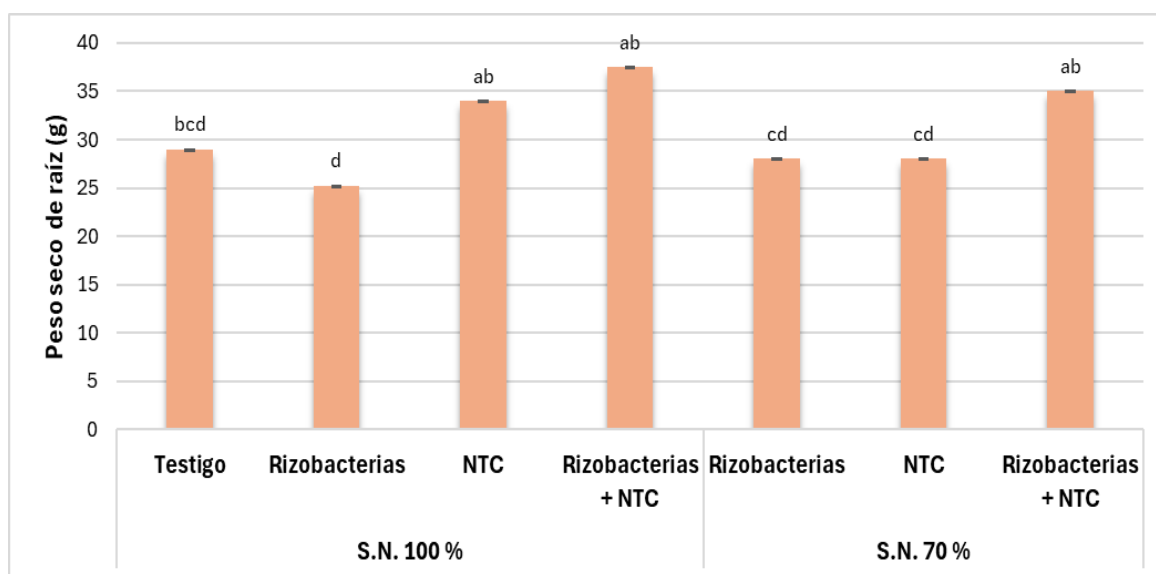
Con base a Herrero – Galindo et al., (2024) realizaron una inoculación bacteriana, aplicando cepas creadoras de ácido indolacético (AIA), donde su respuesta fue,

aumento de longitud del sistema radicular y número de ramificaciones. Estas estructuras tienen relación directa con la raíz y aumento en el peso fresco de la misma, ya que si aumenta su superficie permitiendo mas entrada de nutrientes y una óptima absorción de agua aplicables en el suelo. La fiitohormona AIA siendo un mecanismo de las RPCV para promover la biomasa radical.

Así mismo en comparación con Khodakovskaya et al., (2012) analizo la reacción de nanocarbonos aplicables en el riego, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) siendo este proceso en dirección a la raíz, los NTC penetran la pared celular de esta estructura vegetal, una vez estando dentro de sus células, inducen mayor elongación y aumento de su biomasa. Aumentando el peso fresco de la raíz mayor superficies de crecimiento y absorción.

#### 4.1.4 Peso seco de raíz (g)

En estos resultados arrojaron que los tratamientos con NTC y rizobacterias + NTC en cualquiera de las dos SN utilizadas, tuvieron mayor peso seco de raíz cercano a los 35 g, pero el resto de los tratamientos no tienen un porcentaje bajo de aprovechamiento aplicable, ya que al reducir la SN al 70% no elimina el efecto positivo en NTC tampoco de rizobacterias, por ende, es indica que es una posibilidad de ahorro en nutrientes sin perder el rendimiento de la raíz (Figura 8).



**Figura. 8** Documentación de tratamientos que alteran el peso seco de la raíz.

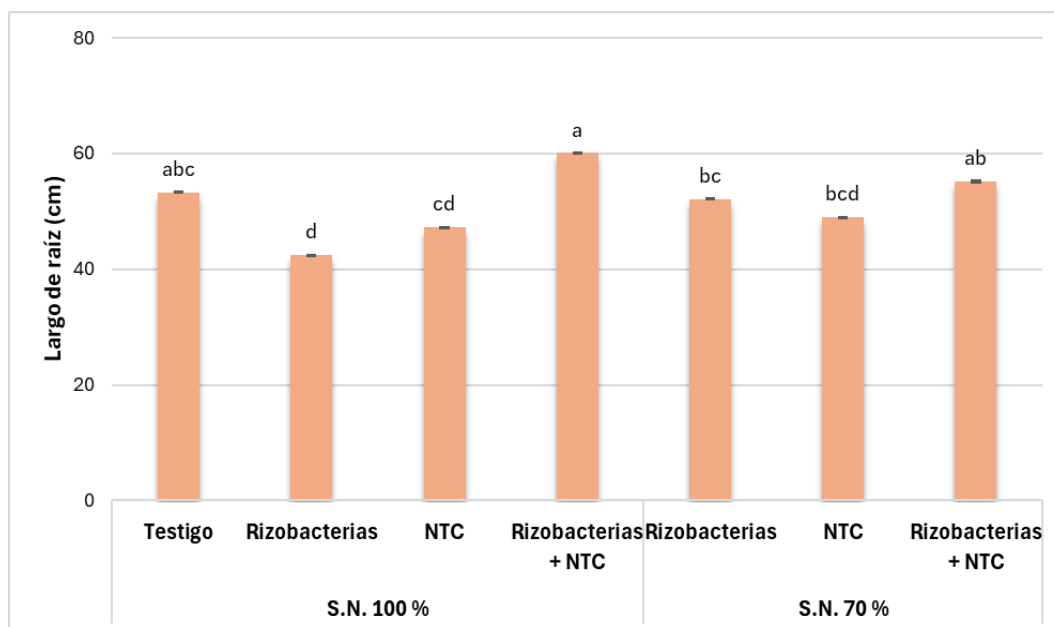
Hao et al., (2023) en sus analisis de nanotecnología de NTC confirmo que este material puede incrementar el crecimiento de la raíz (superficie, volumen y longitud), volviendo eficaz la actividad radicular, teniendo una capacidad de absorción en

nutrientes y agua. Diciendo que al utilizar este material con un manejo adecuado puede tener rendimiento en raíz.

Corral et al., (2021) en su reciente publicación, menciona que en palntula de tomate, chile y otras solanáceas, inoculando microorganismos (*Pseudomonas* y *Bacillus*) intervienen en el crecimiento de la planta, principalmente afectando de manera positiva a la raíz incluyendo la biomasa seca. Resaltando que al mejorar la aquitectura de esta parte vegetativa hay una mejor absorción de minerales, mayor desarrollo y crecimiento de plantas.

#### 4.1.5 Largo de raíz (cm)

En la información recabada se reflejó (Figura 9) el tratamiento de rizobacterias + NTC (T4) en una SN al 100% tienen un incremento mayor en todos los tratamientos, asumiendo una comparación de disminución con el tratamiento de rizobacterias de la misma SN en un 41.36% que fue el que se obtuvo menor resultado.



**Figura. 9** Aplicación de NTC y rizobacterias con soluciones nutritivas al 70 y 100% de concentración influyendo en lo largo de la raíz (cm)

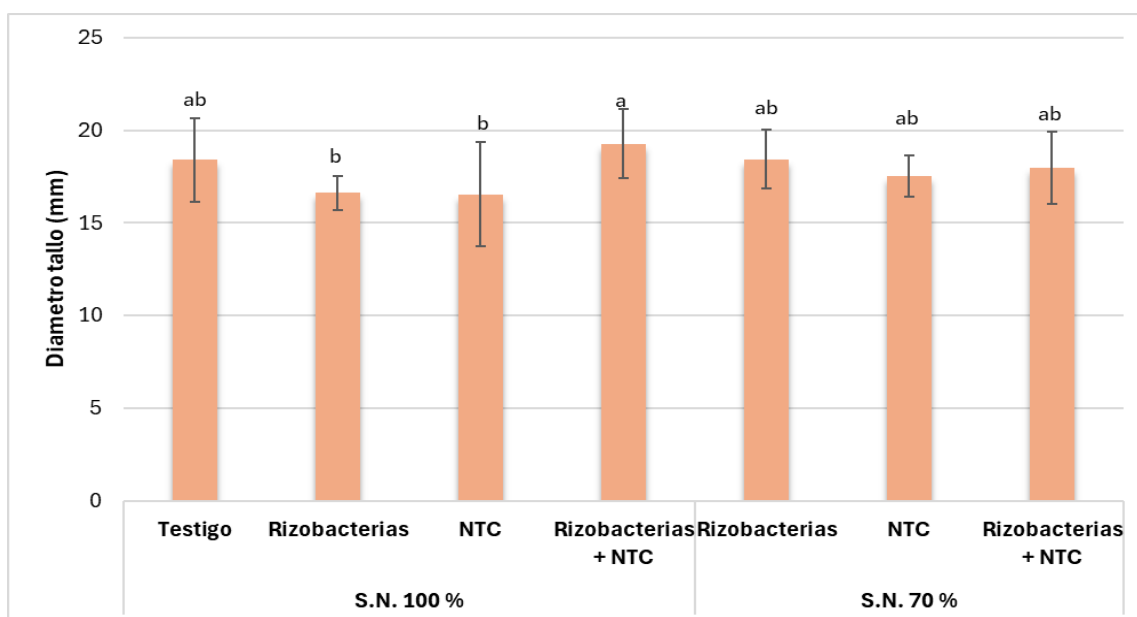
Camacho et al., (2022) estudio enfocado en el chile jalapeño (*Capsicum annuum*) estudiaron la incidencia que se tuvo en distintas rizobacterias (*Serratia marcescens*, *S. plymuyhiaca*, *S. liquefaciens* y *Arthrobacter* sp). Resaltando la parte aérea de la planta y el rendimiento, mencionan que mejoran el crecimiento y vigor. *Arthrobacter* sp. Llegan a producir auxinas, que estas ayudan el crecimiento longitudinal de la raíz.



Cabe resaltar que, en esta investigación de berenjena, cualquier tratamiento aplicable puede dar una respuesta deseada, sin embargo, para un ahorro de nutrición se pudiera utilizar una SN al 70% ya que no interfiere en el crecimiento de la raíz. Concordando con Moreno Resendez et al., (2018) promueve el uso de rizobacterias, como una solución o alternativa para reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos, sin interferir en la productividad, esto debido a la capacidad que tiene las bacterias en solubilizar fosfatos, fijar nitrógeno e inducir a las fitohormonas, método sustentable en el ambiente.

#### 4.1.6 Diámetro del tallo (mm)

Bajo los dos niveles de aplicación SN 70 y 100% las respuestas fueron favorables en todos los tratamientos, en una respuesta ligeramente más efectiva en rizobacterias, NTC y en combinación, quiere decir que las rizobacterias y NTC se adecuan para incrementar el diámetro del tallo de berenjena, (Figura 10). Pero hablando en ahorro de nutrientes aplicables, se considera la SN al 70% con cualquiera de estos tratamientos, ya que logra conservar la robustez del tallo sin pérdida significativa en planta.



**Figura. 10** La influencia de tratamientos aplicados, en el diámetro del tallo (mm).

Según la publicación de Corral Federico (2021) inoculo plántulas de berenjena aislados bacterianos como (*Pseudomonas* sp. y *Bacillus* spp) mostrando efectos

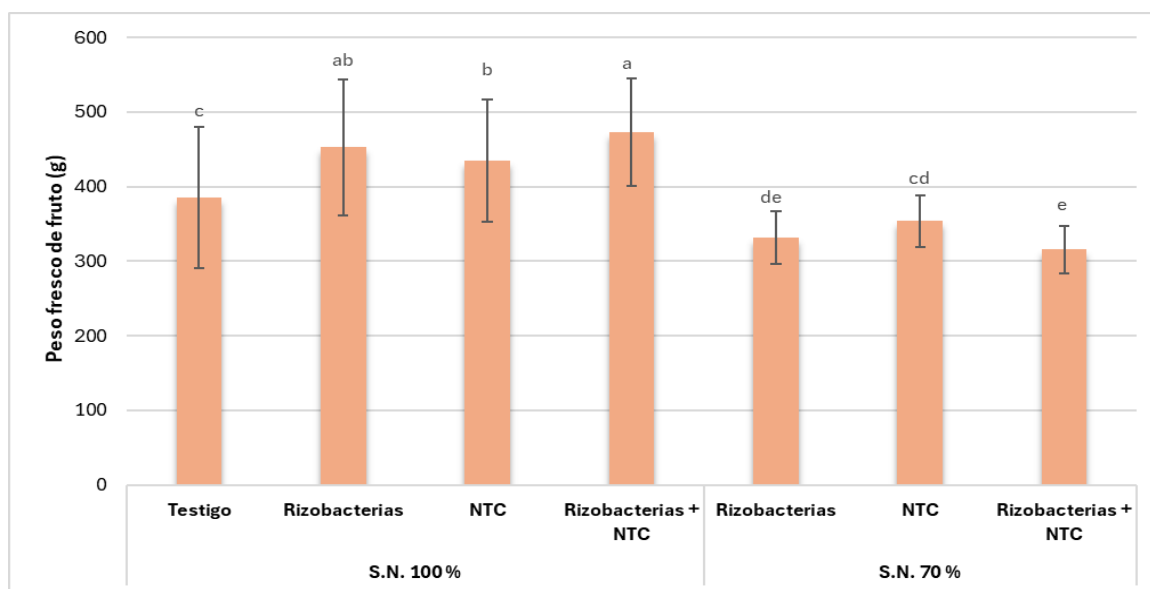
positivos en el diámetro del tallo, acentuó que *Solanum melongena* L. le favoreció mucha más intensidad, en comparación el chile y tomate. Este descubrimiento respalda los resultados de este experimento de investigación.

Mejía et al., (2020) estos autores describen que los nanotubos de carbono, siendo nanopartículas, con características únicas como mecánicas, térmicas, ópticas, electrónicas poco inusuales lo cual su interacción con organismos vegetales puede ayudar a acelerar o formar parte de las estructuras y mecanismos de las plantas. Sin embargo, se siguen realizando más investigaciones al respecto.

## 4.2 Variables de calidad de producción en berenjena

### 4.2.1 Peso fresco fruto (g)

Los efectos dados en esta variable de calidad (Figura 11), nos dice, que los tratamientos de Rizobacterias y NTC o en conjunto, arrojaron resultados similares en SN al 100%, siendo una solución para incremento de producción, en comparación con los tratamientos de la SN al 70% estos resultados fueron menores, se obtuvo un fruto de menor calidad en peso, lo que afecta de manera negativa al fruto.



**Figura. 11** Peso fresco del fruto (g) en el cultivo de berenjena, aplicando rizobacterias y NTC.

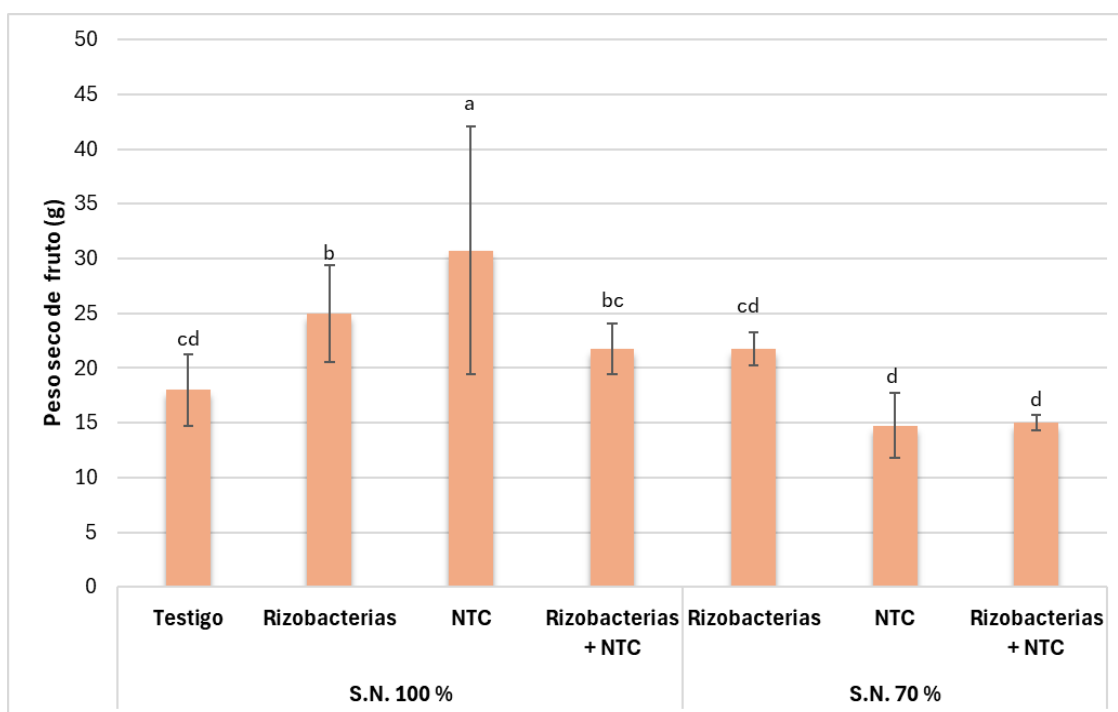
Vargas et al., (2023) en su investigación comprobaron que al aplicar nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) en conjunto con microorganismos encontrados en la rizosfera, aplicables en tomate, en un tratamiento con 30 mg·L<sup>-1</sup> NPs ZnO con el

consorcio microbiano, elevo biomasa total en un 28.81 % en comparación con su control, eficientando altura, diámetro del tallo y mayor cantidad de hojas en la planta, dando concentrándose positivo en la producción de biomasa soportable para mayor rendimiento del fruto.

#### 4.2.2 Peso seco del fruto (g)

Acerca de este aspecto de calidad de fruto, el efecto que se tuvo en esta investigación condujo a el tratamiento de NTC en Sol. Nut. Al 100%, se destaca en tratamientos, siguiendo la sucesión en aplicación de rizobacterias y la implementación de ambos materiales, se tiene una respuesta semejante, no afectando la calidad del fruto con estos componentes (Figura 12).

No obstante, el testigo junto con los tratamientos de la Sol. nut. Al 70% tienen un impacto negativo al fruto seco, siendo no redituable en producción.



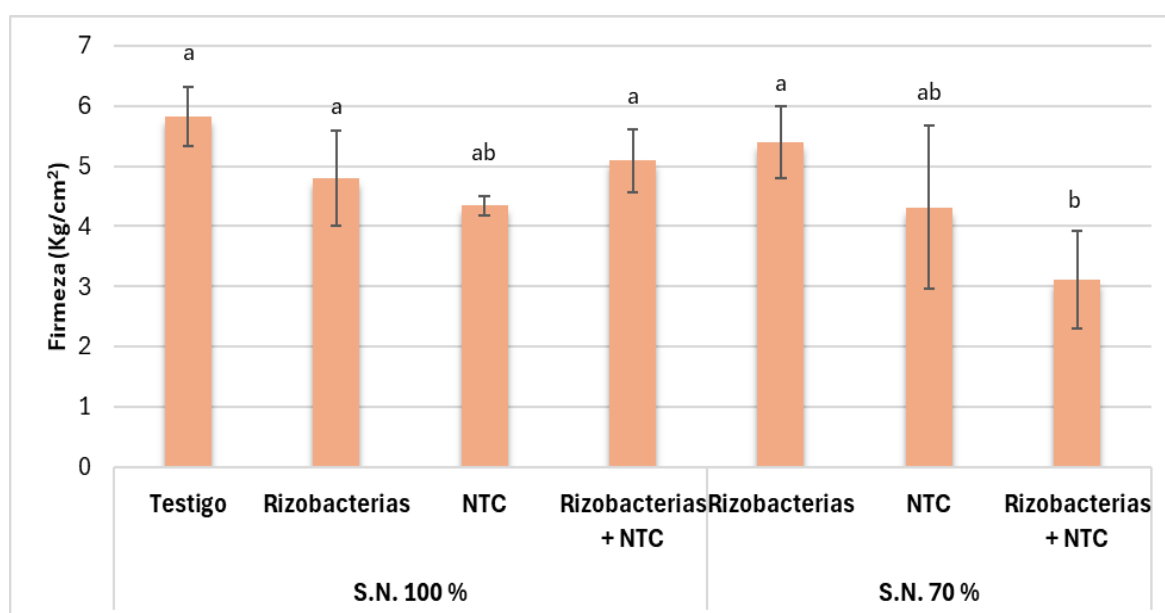
**Figura 12.** Efecto en el peso seco del fruto por aplicación de NTC y rizobacterias, con dos concentraciones de solución nutritiva (100 y 70 %)

Según Rico et al., (2015) existe una incidencia llamada efecto hormético, causando toxicidad en los cultivos, de acuerdo con la investigación si, se aplican dosis bajas o moderadas de NTC estimulan crecimiento, pero, si se realizan dosis con concentraciones altas, pueden llegar a ser fitotóxicas, resultado directo en la planta, como estrés e inhibición de crecimiento.

Guajardo et al., (2023) explica en su estudio realizado con *Physalis peruviana*, las rizobacterias mejoran el crecimiento y desarrollo de las plantas trabajando en conjunto con la fertilización adecuada. En cambio, reduciendo la dosis de nutrición, se contempla un factor negativo, anulando los beneficios de los bioestimulantes.

#### 4.2.3 Firmeza (Kg/cm<sup>2</sup>)

En estas aplicaciones de tratamientos, el testigo se eleva en 25% más en comparación con el tratamiento de menor cantidad lo que fue NTC. Este dato de firmeza nos indica que, para obtener calidad de firmeza del fruto de berenjena, no es necesario aplicaciones de ningún bioproducto, de acuerdo con lo observado en la siguiente figura 13.



**Figura. 13** Firmeza del cultivo de berenjena aplicando dos bioproductos y concentraciones diferentes de SN.

López et al., (2020), considera que el uso de nanomateriales a base de carbono, como lo son NTC, llega a incrementar significativamente la firmeza del fruto de tomate, a diferencia del testigo. Este efecto, resalta la manera de absorción de nutrientes y regulando los procesos fisiológicos que inducen los NTC en las plantas, lo cual influye en la pared celular del fruto.

García et al., (2022) dice que en un incremento de calidad y vida de anaquel del fruto es eficiente gracias a la aplicación de PGPR (*Bacillus* spp) en tomate (*Solanum lycopersicum*) y no solo funcionan como control de estrés biótico. Su investigación

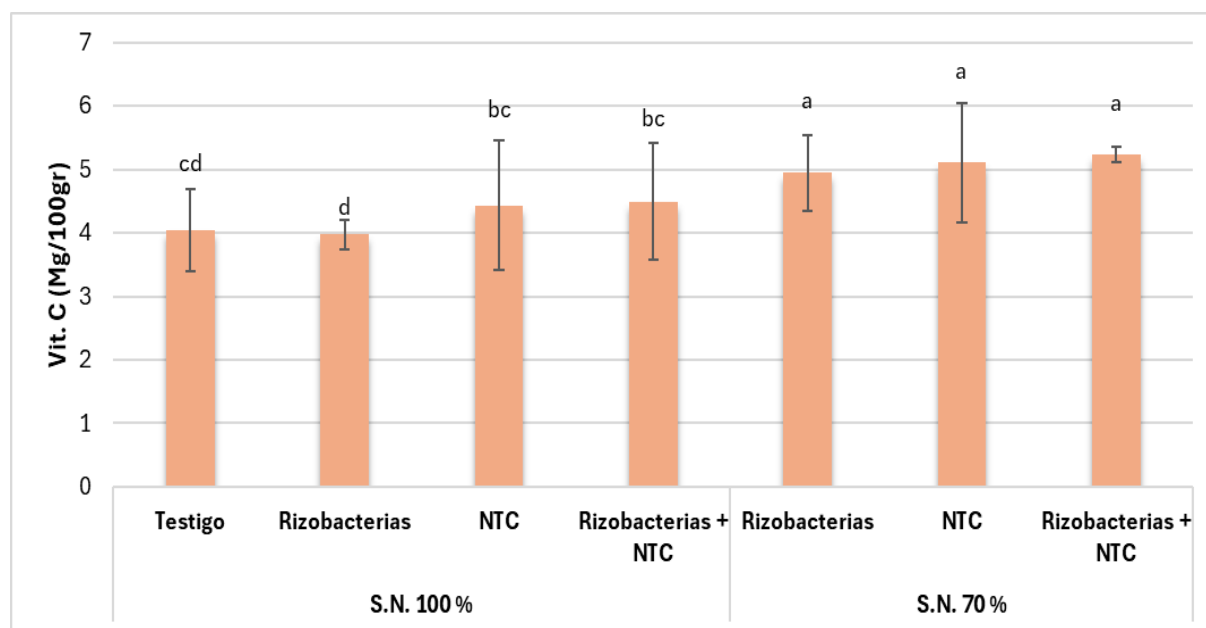
concluye en que la aplicación de microorganismos aplicados mejora la salud vegetal, además de obtener un fruto con mayor calidad de producción, (materia seca, firmeza, etc)

Poveda et al., (2020) con respecto a las rizobacterias (*Bacillus* y *Pseudomonas*) mediante su mecanismo de acción solubilización, volviendo accesibles nutrientes para una poscosecha, sabiendo que;

- Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) es un mineral esencial para una buena firmeza en frutos, su función es dar unión de pectina en la pared celular, teniendo tejidos rígidos siendo las PGPR medios de asimilación
- Potasio ( $\text{K}^+$ ) su función directa en las células manteniendo la turgencia, afectando directamente a la firmeza del fruto.

#### 4.2.4 Vitamina C (Mg/100 g)

La figura 14 nos muestra que en el uso de SN al 70% en todos los tratamientos aplicados NTC y rizobacterias (T7) son adecuados para un aumento de ácido ascórbico (vitamina C) en el fruto, ahorrando así aplicaciones en cuanto a nutrientes. Por el contrario, a los tratamientos de la solución nutritiva al 100% las rizobacterias y NTC tienen un rango menor, incluyendo al testigo, refiriéndose a una pérdida de nutrición. Destacándose el T7 con un aumento de un 29.7 % más que el testigo.

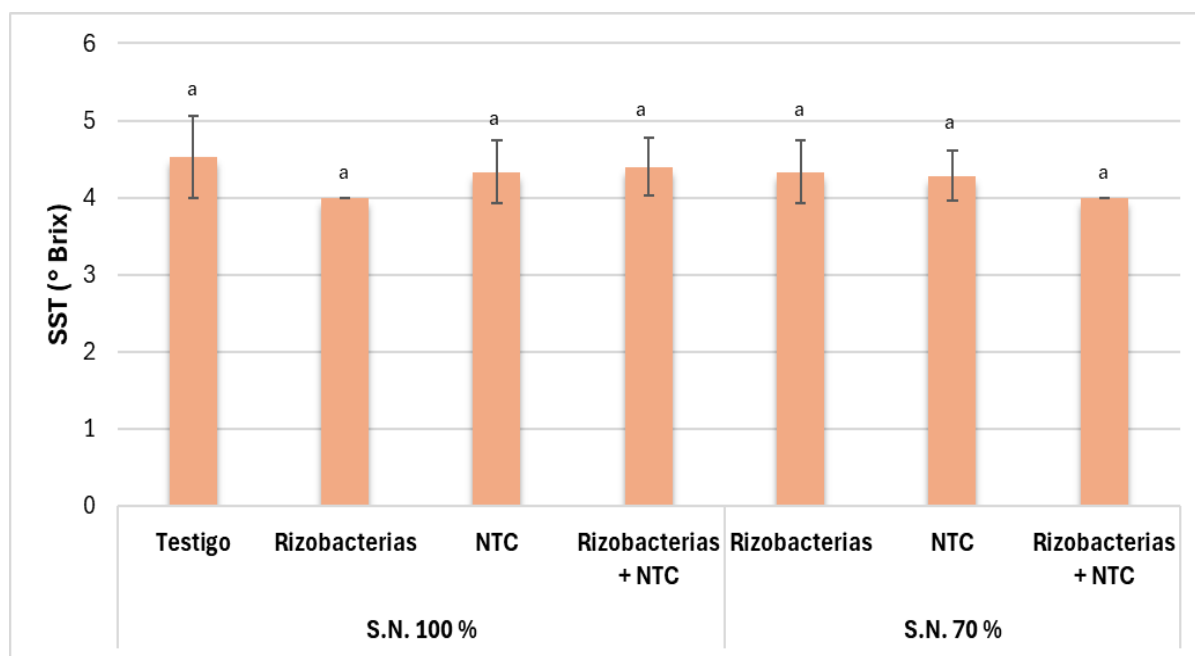


**Figura. 14** Respuesta en la concentración de vitamina C con diferentes tratamientos aplicados en el cultivo de berenjena

Orozco et al., (2022) en su reciente investigación aclara que los extractos de *Bacillus amyloliquefaciens* con una aplicación conjunta de NTC, sobre enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, muestran una reacción significativa para esta causa. En consecuencia, descubrieron que tiene estos agentes, tiene una buena sinergia, ayudando así los frutos, asegurándose en el transporte de metabolitos secundarios (incluso aquellos que promueven la absorción de nutrientes y respuesta autoinmune de la planta). Como resultado de esta concentración mineral, ayuda a aumentar los nutrientes nutraceuticos como vitamina C.

#### 4.2.5 Solido solubles totales (° Brix)

De acuerdo con el efecto dado, no hay diferenciación significativa entre tratamientos para un resultado favorable de SST. (Figura 15), Logrando una asimilación de nutrientes. Sin embargo, al detectar que la similitud es favorable, por lo que es recomendable el diseño de la solución nutritiva al 70% ya que da un ahorro económico y lograr calidad al fruto en esta variable.



**Figura. 15** Resultados obtenidos de SST (°Brix) en *Solanum melongena* L realizando diferentes tratamientos

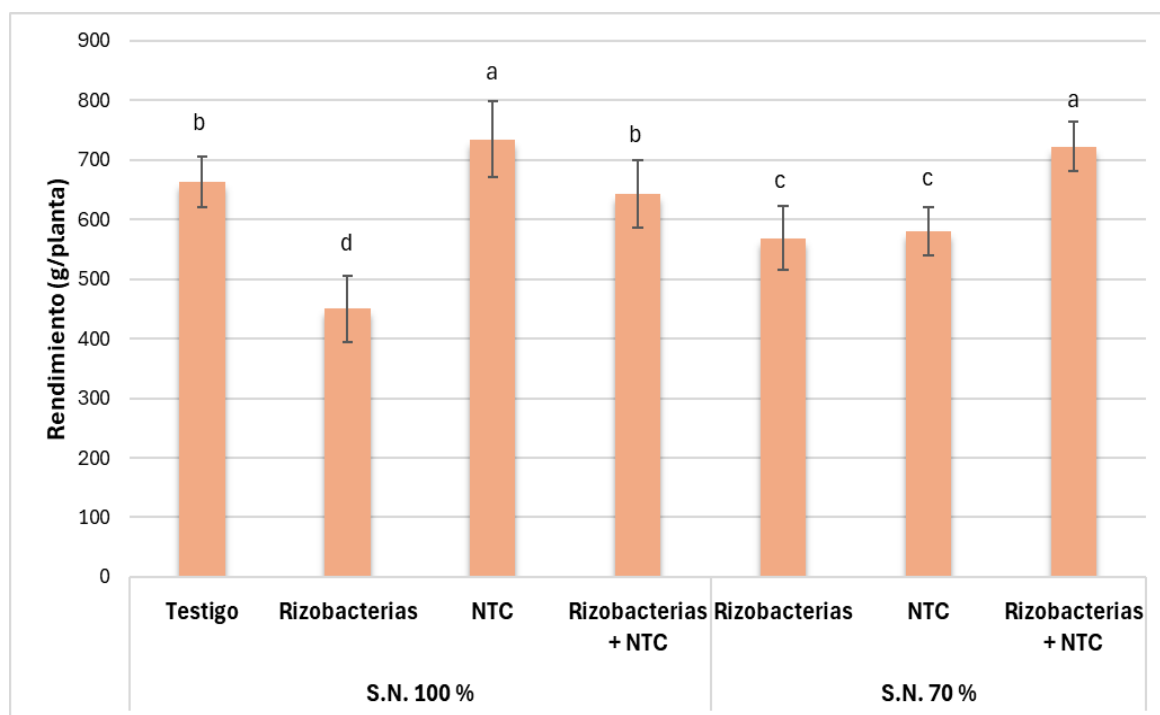
Rodríguez et al., (2018) expresan que, en su ardua investigación en tomate en condiciones controladas, evaluando distintos sustratos y tratamientos de PGPR (*Bacillus* sp) teniendo una cosecha de frutos obteniendo un incremento de 24.17% de

SST en comparación con su tratamiento inoculante. Además de un incremento nutricional teniendo una producción de calidad.

Investigaciones hechas por Ismail et al., (2025) utilizando el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) los MWCNTs mejoraron diferentes variables de producción entre ellos SST con una dosis de  $15 \text{ mg L}^{-1}$  con diferencia mas eficiente, mejorando calidad, rendimiento y cualidades, dejando en evidencia que los NTC hace distinguido la concentración de solutos en los tubérculos.

#### 4.2.6 Rendimiento (g/planta)

En la totalidad de producción en cuanto a rendimiento de berenjena (*Solanum melongena* L). se indica (Figura 16), que la ejecución de tratamientos de NTC y rizobacterias o en su complemento en cualquier nutrición, tienen un rendimiento favorable, siguiendo el tratamiento de rizobacterias + NTC. Teniendo una diferencia de 9.7% entre el testigo siendo el menor productor y NTC Sol. Nut. 100% que tuvo mayor incremento. Siendo asi el tratamiento de rizobacterias SN al 100% el menor en efectividad.



**Figura. 16** Producción por planta de berenjena, bajo diferentes concentraciones de nutrición y aplicaciones de *Bacillus* spp junto con NTC

Teniendo en cuenta a Zhang y Bugueño- Guerreo et al., (2024), resaltan que las PGPR, suelen dar aumento en rendimiento de solanáceas como pimiento y berenjena en condiciones adecuadas o en algún estrés, sin embargo, esta reacción depende significativamente en la cepa aplicada, compatibilidad, dosis y condiciones edafoclimáticas, estos autores mencionan en su investigación que en algunas ocasiones la inoculación por si sola aumenta rendimiento puede incluso, reducirlo si hay interacción negativa con la gestión de nutrientes y la microbiota.

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal no son uniformemente beneficiosas en todas las situaciones dependiendo la cepa, ya que estas pueden generar reorganización de recursos (más vegetativo/ defensa, menos reproductivo) o a fracasar en colonizar eficazmente, además, algunas inducen cambios hormonales como auxinas, ACC, por mencionar algunas modificando la asignación de recursos (Zhang et al., 2024).

En cuanto a la relación de NTC en la berenjena, investigaciones recientes hechas por Sigala- Aguilar (2024) carbono basado en nanomateriales, reportando que las aplicaciones foliares o en el suelo mediante raíz, demuestran incrementos en parámetros de crecimiento y rendimiento en varios ensayos a dosis controladas.



## 5. CONCLUSIONES

Se observó un rendimiento efectivo de NTC utilizando rizobacterias comparado con el testigo tiene un aumento de 9.7 % o por separado en cualquier SN tienen una afectividad favorable.

El tratamiento 4 comparado con el testigo obtuvo un aumento de biomasa fresca del 49%. Al aplicar los tratamientos hubo diferencias en la mayoría de NTC + rizobacterias, identificando un efecto positivo en el acoplo de nanopartículas y microorganismos, logrando una absorción y asimilación de nutrientes y agua en toda la parte vegetativa de la planta. El resultado de vitamina C en el tratamiento 7 (NTC + rizobacterias) logró aumentar 29.7% comparado con el testigo.

## 6. REVISION BIBLIOGRAFICA

- A. Gonzales Beatriz. BERENJENA | Patología Vegetal. (2016). from Unlu.edu.ar website: <https://www.patologiavegetal.unlu.edu.ar/?q=node/50>
- Abdelkrim, I., Sbai, Y., Khali, H., & El Amrani, A. (2023). Improvement of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling growth and quality by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 166(1), 119–130
- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E. y Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: Una síntesis. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(1), 9-21.
- Ahmad, F., et al. (2012). Roles of plant-growth-promoting rhizobacteria in modulation of plant hormones and growth promotion. *Microbiological Research*, 167(6), 335-344. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501311002529>
- Alarcón, LG; Pérez, LMZ; Garrido, JCG; Abad, DEM; Sánchez, RR; Arévalo, A; Acedo, J. 2021. Evaluación de un cultivo ecológico de berenjena en invernadero.
- Ali, S., Mehmood, A., Khan, N. (2021). Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *Journal of Nanomaterials*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6677616>.
- Aragón Barrios, E., et al. (2025). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoran la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de pepino bajo estrés salino. *Revista Electrónica de Recursos Agropecuarios*, 16(2), 1-12. <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/4276>
- Arguedas, C., y Monge, J. (2017). Licenciatura en Agronomía. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad de los frutos de dos genotipos de berenjena (*Solanum melongena* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-66.pdf>
- Armstrong, A; Cabrera, I. 2016. Conjunto Tecnológico para la Producción de Berenjena. Insectos y su manejo integrado. Mayaguez, Universidad de Puerto Rico. 40 p.
- Arumugam, A., Selvaraj, J., & Palaniappan, T. (2025). Application of carbon nano tubes for sustainable agriculture. ~ 564 ~ *International Journal of Research in Agronomy*, 8(1), 564–568. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i1h.2464>

- Ayutsede, J., Gandhi, M., Sukigara, S., Ye, H., Hsu, C., Gogotsi, Y., & Ko, F. (2006). Carbon nanotube reinforced Bombyx mori silk nanofibers by the electrospinning process. *Biomacromolecules*, 7(1), 208-214.
- Bhattacharya, T., Das, T., Preetam, S. y Chopra, H. (2023). *Avances de vanguardia en nanomateriales de carbono derivados de residuos agrícolas y sus aplicaciones multifacéticas en la agricultura: Mejora de la imagenología de cultivos, eficiencia nutricional y salud vegetal*. ACS Applied Bio Materials. <https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00345>
- Bolaños, HA. 2018. Introducción a la oleicultura (en línea). 1 ed. Barrantes, CH; Umaña Ana Cristina (eds.). Montes de Oca, 2018, vol.2. 156-158 p. Disponible en <https://isbn.cloud/9789977649672/introduccion-a-la-olericultura/>.
- Bugueño-Guerrero, F. I., Catalán-Barrera, O., & Carballo-Sánchez, M. P. (2024). Effect of a plant growth-promoting rhizobacteria consortium to promote growth in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Mexican Journal of Biotechnology / Socibiotech*, 9(2). <https://socibiotech.com/journals/mexjbiotechnol/article/view/51>
- Camacho-Rodríguez, M., Almaraz-Suárez, J. J., Vázquez-Vázquez, C., Angulo-Castro, A., Ríos-Vega, M. E., & González-Mancilla, A. (2022). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento del chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 185–196. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3273>
- Consumer. (2025). Berenjena | Introducción | Verduras y hortalizas | EROSKI CONSUMER. From website: <https://verduras.consumer.es/berenjena/introduccion>
- Corral Federico, A. G. (2021). *Bioprospección y caracterización de bacterias endófitas de Solanum hindsianum como promotoras de crecimiento vegetal en condiciones de estrés hídrico y salino*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3628/1/tesis\\_Ana%20Guadalupe%20Corral%20Federico\\_25%20oct%202021.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3628/1/tesis_Ana%20Guadalupe%20Corral%20Federico_25%20oct%202021.pdf)
- Cota, O., Cortez, M., Burgos, A., Ezquerra, J., & Plascencia, M. (2013). Controlled release matrices and micro/nanoparticles of chitosan with antimicrobial potential: development of new strategies for microbial control in agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(7), 1525-1536
- Dirección General de Sanidad Vegetal Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. (CNRF), (2014). Protocolo de Diagnostico- *Ralstonia solanacearum*

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728748/2. PD. Ralstonia solanacearum papa fresca 0.0 2014.pdf>.

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2024). Producción nacional de berenjena 2014-2023. Cita en <https://panorama.agricultura.gob.mx/vista/productos.php>

Echevarría JR. (2017) Alimentos hipolipemiantes que mejoran la salud cardiovascular. *Rev Cuba Cardiol Cir Cardiovasc*; 23(4). Disponible en: <http://www.revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/708>

Espinoza, HR; Weller Stephen. (2014). Manejo integrado de plagas insectiles de berenjena (*Solanum melongena* L.) Manejo integrado de plagas insectiles de berenjena (*Solanum melongena* L.). La lima, cortes, Honduras, fundación hondureña de investigación agrícola. 7-8 p. <http://www.fhia.org.hn/descargas/Departamento de Proteccion Vegetal/Guia Manejo Integrado de Plagas Insectiles de Berenjena.pdf>.

FIRCO. (2018). *Propiedades nutricionales y beneficios saludables de alimentos funcionales*. Fideicomiso de Investigación y Responsabilidad por Contaminantes. Obtenido de <https://www.gob.mx/firco/articulos/berenjena-hortaliza-con-muchos-beneficios-y-poco-consumida-en-nuestro-pais?idiom=es>

Fonseca, JD da S., Wojciechowska, E., Kulesza, J. y Barros, BS (2024). Nanomateriales de carbono en la preparación de semillas: posibilidades actuales. *ACS Omega*, 9 (45), 44891–44906. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c07230>.

García-Ramírez, E., Melgoza-Meléndez, F., & López-Bucio, J. (2022). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Alternativa para mejorar la calidad y vida de anaquel del tomate. *Agrociencia*, 56(3), 1–15. González-Lavaut, JA; Montes de Oca-Rojas, Y; Domínguez-Mesa, MI. (2007). Breve reseña de la especie *Solanum melongena* L. *Revista cubana de plantas medicinales* 12(3):0.

Guajardo-Paz, I., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R., Hernández-Pérez, A., Sandoval-Villa, M., & Cabrera-De la Fuente, M. (2023). Evaluación de la aplicación de rizobacterias y fertilización química en la producción y calidad del fruto de *Physalis peruviana*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 31(90), e4281.

Guillermo, P., & Fornaris, J. (2014). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Berenjena 1 Clasificación y Origen*. <https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/BERENJENA-Character%C3%ADsticas-de-la-Planta-v2006.pdf>

- Guillén-Sánchez, D., Ortega-Ortiz, H., Almaral-Sánchez, L., Torres-Pacheco, I., Cruz-Vallejo, V., & Guevara-González, R. G. (2021). Carbon Nanotubes Decrease the Negative Impact of *Alternaria solani* in Tomato Crop. *Plants*, 10(5), 999. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8143504/>
- Hao, Y., Yu, Y., Sun, G., Gong, X., Jiang, Y., Guoyi Lv, Zhang, Y., Li, L., Zhao, Y., Sun, D., Gu, W., & Qian, C. (2023). Effects of Multi-Walled Carbon Nanotubes and Nano-Silica on Root Development, Leaf Photosynthesis, Active Oxygen and Nitrogen Metabolism in Maize. *Plants*, 12(8), 1604–1604. <https://doi.org/10.3390/plants12081604>
- Harirchi, S.; Sar, T.; Ramezani, M.; Aliyu, H.; Etemadifar, Z.; Nojoumi, S.A.; Yazdian, F.; Awasthi, M.K.; Taherzadeh, M.J. Bacillales (2022): From Taxonomy to Biotechnological and Industrial Perspectives. *Microorganisms*, 10, 2355
- Hassan, I., Jatoi, S. A., Arif, M., & Siddiqui, S. U. (2015). *Genetic variability in eggplant for agro-morphological traits*. SCIENCE, TECHNOLOGY and DEVELOPMENT. <https://worldveg.tind.io/record/54939/>
- Herrero-Galindo, C., García-García, S. E., Sánchez-Hernández, M. C., Hernández-Meléndez, J., & Hernández-García, M. D. L. Á. (2024). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la producción de plántulas de tomate. *Current Topics in Agronomic Science*, 4(2) <https://revistas.chapingo.mx/ctasci/article/download/1053/r.ctas.2024.0310-es/3741>
- Huertas, H. (2020) *Caseras Caseras Caseras Berenjena Berenjena*. <https://dejardines.com/wp-content/uploads/Berenjena.pdf>.
- Ismail, M., Imtiaz, M., Khan, R. S., Jalal, F., Said, F., Khan, M. A., Hussain, S., Islam, B., Khan, S., Khan, S., Ullah, A., Khan, M., & Amir, M. (2025). Carbon Nanotubes Improve Quantitative and Qualitative Attributes of Potato (*Solanum tuberosum* L) Genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02758-5>
- Infoagro. (2002). *Agricultura. El cultivo de la berenjena*. 1ª parte . <https://www.infoagro.com/hortalizas/berenjena.htm>
- INSTITUTO NACIONAL TECNOLÓGICO. (2016). Manual de Manejo Integrado de Plagas  
Obtenido de [https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual de Manejo Integrado de Plagas Part1.pdf](https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual%20de%20Manejo%20Integrado%20de%20Plagas%20Part1.pdf)

- Intagri S.C. (2021). *El Cultivo de la Berenjena* | Intagri.com. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-la-berenjena>
- Jasso-Arreola, Y., Ibarra, J. A., & Estrada-de los Santos, P. (2023). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en plantas sometidas a estrés hídrico: un enfoque desde la fisiología vegetal. *Avances en Tecnología y Ciencias*, 8(31), 24-55. <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-831/efecto-de-rizobacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal-en-plantas>
- Khodakovskaya, M. V., Silva, V., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., & Biris, A. S. (2012). Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*, 6(8), 7512–7522. <https://www.google.com/search?q=https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/nn302985p>
- Koppert México. (2025)., *Botrytis cinerea (Botryotinia fuckeliana)* Moho gris. from Koppert.mx website: <https://www.koppert.mx/enfermedades-de-las-plantas/moho-gris/>
- Laserna, S. (2013, July 22). *Berenjena, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico*. Agroes.es. <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/berenjena/345-berenjena-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M., & Saleem, M. (2016). Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, 174-183
- Lira-Saldivar, R. H., Bulmaro Méndez Argüello, De, G., & Reyes, I. V. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 9–24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- Lira-Saldivar, RH, Vera-Reyes, I., & de los Santos-Villarreal, G. (2021, 14 de mayo). *Agronanotecnología para sistemas modernos de producción alimentaria*. Centro de Investigación en Química Aplicada. <https://ciqa.mx/Agronanotecnología.aspx>
- López-Vargas, E. R., Pérez-Álvarez, M., Cadenas-Pliego, G., Hernández-Fuentes, A. D., Juárez-Maldonado, A. (2021). Seed Treatment with Carbon Nanomaterials Impacts Growth and Nutrient Ab-sorption in Tomato Under Saline Stress. *Revista Bio Ciencias* 8, e1090. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1090>

- López-Vargas, D. (2020). \*Efectos de nanomateriales de carbono en plantas de tomate (\**Solanum lycopersicum L.*) inoculadas con *Fusarium oxysporum*. (Tesis de Licenciatura no publicada). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47595/K%2066582%20L%C3%B3pez%20Vargas%2C%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Luis, J. (2021, July 22). *Solanum melongena L.* Asturnatura. <https://www.asturnatura.com/especie/solanum-melongena>
- Mamani, A. (2023). Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática. *Revista Acciones Médicas*, 2(4), 43-55. <https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.04.004>
- Martínez, S; Fornaris, G. 2006. Conjunto tecnológico para la producción de berenjena. Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez. Colegio deficiencias agrícolas. Estación experimental agrícola. Río Piedras, Puerto Rico :9.
- Martínez, SL. 2021. Conjunto tecnológico para la producción de berenjena, Suelo y preparación de terreno. (en línea). Río Piedras, Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola. 13-16 p. Disponible en [https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/2424/EEA\\_ConjuntoBerenjena\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/2424/EEA_ConjuntoBerenjena_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Masabni, J., Asistente, P., De Extensión, H., & Lillard, P. (n.d.). Retrieved from [https://aggie-horticulture.tamu.edu/wp-content/uploads/2017/09/berenjena\\_036s.pdf](https://aggie-horticulture.tamu.edu/wp-content/uploads/2017/09/berenjena_036s.pdf)
- Mejía-Barajas, J. A., & Dasgupta-Schubert, N. (2020). ¿Nanotubos de carbono en el nacimiento de una planta? *Saber Más*, 9(76). <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/690-numero-76-articulos/1451-nanotubos-de-carbono-en-el-nacimiento-de-una-planta.html>
- Meyer R.S., Karol K.G., Little D.P., Nee M.H., Litt A. (2012). Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63:685–701.
- Orozco-Plancarte A, Cerna-Chávez E, Ochoa-Fuentes YM, Landeros-Flores J, Jasso-de Rodríguez D, Medina-Ramírez IE, Olalde-Portugal V (2022) Efecto inhibitorio de nanotubos de carbono con extractos de *Bacillus amyloliquefaciens* sobre hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(1): e3155. DOI: 10.19136/era.a9n1.3155

- Palacios-López, LA (2023). El uso de biofertilizantes en la agricultura moderna: sus avances, desafíos y perspectivas. *Revista colaborativa multidisciplinaria*, 1(2), 52-64. <https://doi.org/10.70881/mcj/v1/n2/16>
- Patani, B., Patel, N., & Mehta, S. (2024). Avances recientes en la mejora del crecimiento de plantas mediado por *Bacillus*: una revisión. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 15, artículo 1329693. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1329693>
- Poveda, J., Abril-Ruiz, J., & Giraldo-Giraldo, S. A. (2020). Mecanismos de acción de rizobacterias y hongos promotores del crecimiento vegetal. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 391–402.
- Producción de Berenjenas por Países en 2023 - Estadísticas Globales de FAO. (2023). Retrieved November 18, 2025, from Atlasbig.com website: <https://mx.atlasbig.com/paises-por-produccion-de-berenjena>
- Prohens, J. 2015. Proyecto internacional busca obtener berenjenas adaptadas al cambio climático y condiciones extremas (en línea, sitio web). Consultado 5 sep. 2022. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2015/09/14/berenjenasresistentes-al-cambio-climatico/>.
- Reséndez, A. M., Mendoza, V. G., Reyes, L., Arroyo, J. V., & Ríos, P. C. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68–83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Rico, C. M., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2015). Nanomaterials as plant protectants, enhancing plant safety. In **Nanotechnology, food security and sustainability** (pp. 235-256).
- Riquelme T. Danae; Lagos O. José. 2021. Verticilosis de la berenjena. INIA- La Platina. From [biblioteca.inia.cl](http://biblioteca.inia.cl). website: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1888dd12-52f9-4bbd-9c8e-ae2450e2676e/content>
- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., & Clarenc Aarland, R. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Rodríguez, G. G., Palomeque, B. E., Ríos, P. C., Reséndez, A. M., Escobedo, L. L., Homero Sánchez Galván, & Mata, J. S. (2018). Influencia de rizobacterias en la



- producción y calidad nutraceutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 367–379. <https://www.redalyc.org/journal/2631/263158482009/html/>
- Rosa, E. 2016. Conjunto Tecnológico para la Producción de Berenjena (en línea). Mayaguez, Universidad de Puerto Rico. 45 p. Disponible en [https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/2424/EEA\\_ConjuntoBerenjena\\_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/2424/EEA_ConjuntoBerenjena_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Roy y col. (2024) se asocia a estudios sobre bioestimulantes *Bacillus* y biochar, como en <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/biotecnologiaysust/article/download/3231/2450>.
- Sairam, K., & Gangurde, N. (2016). Nanonutrients with lacto-gluconates based nutritional biofertilizer's for sustainable agriculture. En Sayyed, R., Reddy, m. & Al-Turky, A. (Eds.) Recent Trends in PGPR Research for Sustainable Crop Productivity. (pp. 112-1129). India: Scientific, Publishers.
- Sigala-Aguilar, N. A., López, M. G., & Fernández-Luqueño, F. (2024). Carbon-based nanomaterials as inducers of biocompounds in plants: Potential risks and perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108753>
- Sharma, M., Kapoor, D., Loyal, A., Kumar, R., & Husen, A. (2025, February 2). *Impact of Carbon-Based Nanomaterials on the Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Sustainable Agricultural Crop Plant Production*. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5104-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5104-4_16)
- Secretaria De Agricultura Y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *MANUALES PRÁCTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOINSUMOS 6. Solución Steiner. Estrategia de Acompañamiento Técnico*. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737326/7\\_Solucion\\_Steiner.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737326/7_Solucion_Steiner.pdf)
- Secretaria De Agricultura y Desarrollo Rural SADER (2025). *La fruta, salud y sabor que se disfruta*. Gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-fruta-salud-y-sabor-que-se-disfruta>
- Serag, M., Kaji, N., Gaillard, C., Okamoto, Y., Terasaka, K., Jabasini, M., Manabu, T., Mizukami, H., Bianco, A., & Baba, Y. (2011). Trafficking and subcellular localization of multiwalled carbon nanotubes in plant cells. *ACS nano*, 5(1), 493-499.

- Singh, M. P., Gazali, A., Prakash, O., Pal, P., Singh, A. K., Prakash, A., Sarangi, P. K., Sahoo, U. K., Prasad, R., & Sonkar, S. (2025). Harnessing carbon nanotubes for enhanced plant growth and sustainable agriculture: Opportunities and challenges. *Plant Nano Biology*, 13, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100178>.
- Steiner, A.A. 1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the Internacional Potash Institute. pp: 324-341.
- Steiner, A.A. 1980. The selective capacity of plant for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution.
- Syngenta. (2023, October 2). Insecticidas y plagasen el cultivo de solanáceas | Retrieved November 21, 2025, from Syngenta website: <https://www.syngenta.es/insecticidas/solanaceas>
- Tovar-Quiroz, A. D. (2023). Agricultura 4.0: uso de tecnológicas de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.5536>.
- Terreros, P. Y. (2014). Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica. Aislamiento y caracterización de solanina por Espectroscopía de Infrarrojos en berenjena (*Solanum melongena* L.). pontificia universidad cataolica del ecuador, Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8559/Aislamiento%20y%20caracterizaci%c3%b3n%20de%20solanina%20por%20Espectroscop%c3%ada%20de%20Infrarrojos%20en%20berenjena%20%28Solanum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UW Plant Disease Diagnostics Clinic. (2024, 27 de febrero). *Podredumbre blanda bacteriana*. Horticultura de Wisconsin. <https://hort.extension.wisc.edu/articles/bacterial-soft-rot/>
- Vargas-Martínez, G., Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sánchez-Vega, M., Sandoval-Rangel, A., & Méndez-López, A. (2023). IMPACTO DE NPsZnO Y MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS EN EL CRECIMIENTO Y BIOMASA DEL TOMATE. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4332>
- Velasco-Jiménez, A., O. Castellanos-Hernández, G. Acevedo-Hernández, R. C. Aarland y A. Rodríguez-Sahagún. 2020. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 38: 333-345.DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.47>.

- Verma, S. K., Das, A. K., Gantait, S., Kumar, V., & Gurel, E. (2019). Applications of carbon nanomaterials in the plant system: A perspective view on the pros and cons. *Science of the Total Environment*, 667, 485–499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.409>
- Wang, X., Xie, H., Wang, P., & Yin, H. (2019). Nanopartículas en plantas: absorción, transporte y actividad fisiológica en hoja y raíz. *Fisiología y bioquímica vegetal*, 139, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.018>
- Zahid, M., Abbasi, M. K., Hameed, S. & Rahim, N. (2015). Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (*Zea mays* L.). *Front Microbiol*, 6, 207. doi: 10.3389/fmicb.2015.00207.
- Zhang, T., Jian, Q., Yao, X., Guan, L., Li, L., Liu, F., Zhang, C., Li, D., Tang, H., & Lu, L. (2024). *Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and quality of several crops. Heliyon*, 10(10), e31553. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31553>