

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



Efecto de la concentración nitrato: amonio en la producción de pepino "Spickler" bajo invernadero

**Por:**

**Lorenzo Daniel González Rosales**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón, Coahuila, México  
Marzo 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Efecto de la concentración nitrato:amonio en la producción de pepino "Spickler" bajo invernadero

Por:


**Lorenzo Daniel González Rosales**


TESIS


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

**INGENIERO AGRÓNOMO**

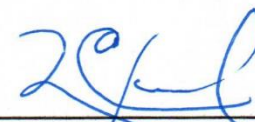
Aprobada por:


  
Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Presidente

  
Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez  
Vocal

  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Vocal

  
Dr. Antonio Castillo Martínez  
Vocal Suplente

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

  
Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Marzo 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Efecto de la concentración nitrato: amonio en la producción de pepino "Spickler" bajo invernadero

Por:

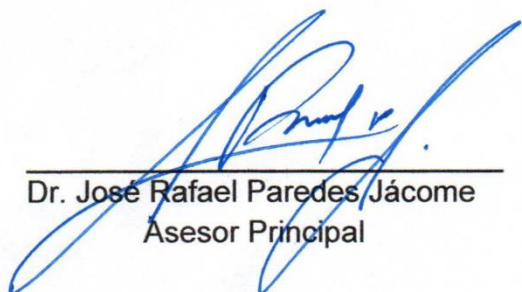
**Lorenzo Daniel González Rosales**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:




---

Dr. José Rafael Paredes Jácome  
Asesor Principal



---

Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez  
Coasesor




---

Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Coasesor




---

Dr. Antonio Castillo Martínez  
Coasesor



---

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



Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

**Torreón, Coahuila, México**

Marzo 2026

## **DEDICATORIAS**

A mi familia, por ser mi sostén, mi inspiración y mi fuerza en cada etapa de este camino. Su amor, paciencia y apoyo incondicional me dieron la confianza necesaria para alcanzar este logro tan importante en mi vida.

Con especial cariño y respeto dedico este trabajo a la memoria de mi abuelo Francisco Rosales Vargas, a quien considero como un padre. Aunque ya no está físicamente conmigo, su ejemplo, sus enseñanzas y su presencia en mi corazón me acompañaron hasta este momento. Su partida ocurrió cuando estaba a punto de culminar esta etapa, pero su legado de esfuerzo y amor sigue siendo la guía que me impulsa a seguir adelante.

Este logro es también suyo, y lo llevo conmigo como un homenaje a su vida y a todo lo que significó para mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante en cada etapa de mi formación. Su confianza en mí y sus palabras de aliento fueron la base que me sostuvo en los momentos de mayor desafío y me motivaron a seguir adelante hasta alcanzar este objetivo.

A mi asesor, Dr. José Rafael Paredes Jácome por su apoyo, paciencia, exigencia, tiempo y compartirme sus conocimientos durante todo el proceso de esta investigación.

A mis maestros, por su dedicación, enseñanza y guía a lo largo de mi preparación académica. Sus conocimientos, consejos y exigencia fueron fundamentales para mi crecimiento profesional y personal, y me inspiraron a mantener siempre el compromiso con la excelencia.

A mi Alma Mater por la gran oportunidad que me dio al abrirme sus puertas, brindándome sus servicios, por las buenas experiencias y las personas buenas que conocí.

A Dios por permitirme concluir esta meta en mi vida de una forma correcta y permitir que mi familia esté presente en mis logros.

# ÍNDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	vii
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
HIPÓTESIS .....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Origen e historia del cultivo de pepino.....	3
2.2 Importancia del cultivo de pepino .....	3
2.2.1 Producción Nacional.....	4
2.2.2 Producción mundial .....	4
2.3 Características botánicas del cultivo de pepino .....	4
2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de pepino .....	6
2.5 Clasificación taxonómica de pepino .....	7
2.6 Requerimientos nutricionales del cultivo de pepino .....	7
2.7 Relación nitrato:amonio .....	7
2.7.1 Función fisiológica del nitrato .....	8
2.7.1 Función fisiológica del amonio.....	8
2.8 Soluciones nutritivas en la producción de pepino.....	9
3. MATERIALES Y METODOS.....	10
3.1 Ubicación del experimento .....	10
3.2 Material vegetal y siembra .....	10
3.3 Sistema de producción .....	10
3.4 Sistema de riego .....	10
3.5 Manejo del cultivo .....	10
3.6 Descripción de los tratamientos .....	11
3.7 Variables agronómicas evaluadas .....	12
2.10 Análisis estadístico .....	13

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>23</b>
<b>6. REVISION BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>24</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Contenido nutraceutico en el cultivo de pepino-----</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2. Requerimientos nutricionales para el cultivo de pepino -----</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 3. Productos fitosanitarios aplicados para control de plagas y enfermedades -----</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 4. Descripción de tratamientos aplicados (g/L). -----</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 5. Resultados obtenidos en las variables agronómicas del cultivo de pepino-----</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 6. Resultados obtenidos de rendimiento y calidad de fruto del cultivo de pepino-----</b>	<b>21</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Peso promedio de fruto (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio-----	14
<b>Figura 2.</b> Peso fresco de planta (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio-----	15
<b>Figura 3.</b> Peso seco de planta (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio-----	16
<b>Figura 4.</b> Rendimiento estimado (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio. -----	17
<b>Figura 5.</b> Firmeza (kg) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio. -----	18
<b>Figura 6.</b> Vitamina C (mg/100 g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio. -----	19

## RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de gran relevancia mundial por su consumo y valor económico. Se encuentra entre los vegetales más consumidos, principalmente fresco en ensaladas o como botana, aunque también se utiliza en encurtidos y en la industria cosmética. Su alto contenido de agua y bajo aporte calórico lo convierten en un alimento saludable y versátil. El presente trabajo evaluó el efecto de diferentes relaciones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en la solución nutritiva Steiner sobre variables agronómicas del cultivo de pepino. Se empleó semilla híbrida "F1 Spickler" de la casa semillera Jalisco Agro, sembrada de manera directa en bolsas plásticas de 15 litros. Se establecieron cuatro tratamientos: Steiner (100:0), T2 (90:10), T3 (80:20) y T4 (70:30), bajo un diseño de bloques completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de planta, peso fresco y seco de raíz, número de frutos, rendimiento estimado, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro del mesocarpio, peso promedio de fruto, firmeza, sólidos solubles y contenido de vitamina C. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (80:20) destacó con incrementos en peso promedio de fruto (21.64%), peso fresco de planta (26.65%), peso seco de planta (113.54%), firmeza (29.29%) y vitamina C (112%), en comparación con la solución Steiner. Asimismo, el tratamiento T2 (90:10) presentó el mayor aumento en rendimiento estimado (48.30%). Se concluye que, la combinación de nitrato y amonio en la solución nutritiva favoreció el crecimiento y la calidad del fruto de pepino, mejorando variables clave como rendimiento, firmeza y contenido de vitamina C. Estos resultados evidencian que el uso balanceado de ambas fuentes de nitrógeno puede ser una estrategia eficiente para optimizar la producción y calidad del cultivo bajo condiciones de invernadero.

**Palabras clave:** Rendimiento, Firmeza, Vitamina C, Calidad de fruto

## 1. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de gran importancia mundial por su consumo y valor económico. Su origen se ubica en el sur de Asia, especialmente en la India, donde se cultiva desde hace unos 3,000 años. Las primeras referencias aparecen en el Atharva-veda, uno de los textos más antiguos de la literatura india. En el siglo XVI fue introducido a América por Cristóbal Colón, lo que favoreció su expansión global (SADER, 2022).

El pepino es uno de los vegetales más consumidos, principalmente fresco en ensaladas o como botana, aunque también se emplea en encurtidos y cosméticos. Nutricionalmente, destaca por su alto contenido de agua y bajo aporte calórico. Aporta vitaminas, especialmente ácido ascórbico, y minerales como calcio, hierro y potasio (PROFECO, 2020; Elías et al., 2020). Su composición lo convierte en un alimento saludable y versátil. La creciente demanda lo posiciona como un cultivo relevante para el sector agrícola (Rodríguez-Fernández y Girón-Acosta, 2021).

A nivel mundial, la producción de pepino alcanzó aproximadamente 178 millones de toneladas en 2024, siendo China el principal productor, seguido por países como India, Turquía y Rusia. En México, este cultivo también tiene gran importancia económica, con una producción cercana a 959 mil toneladas en 2024, destacando estados como Sinaloa, Sonora y Michoacán como los principales productores (FAOSTAT, 2024; SIAP, 2024).

En la producción de pepino, uno de los factores más relevantes es el manejo de la nutrición mineral, especialmente el suministro de nitrógeno. Las plantas lo absorben principalmente como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), cuya proporción influye en su crecimiento y desarrollo. El nitrato es la forma más común y favorece el sistema radicular, mientras que el amonio se asimila con menor gasto energético. No obstante, altas concentraciones de amonio pueden resultar tóxicas (Li et al., 2013; Intagri, 2020). Por ello, mantener un equilibrio entre ambas formas en las soluciones nutritivas es esencial para optimizar el rendimiento y la calidad del cultivo, sobre todo en sistemas intensivos o bajo condiciones protegidas (Alejo-Santiago et al., 2021).

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la concentración nitrato:amonio en la solución nutritiva en las variables agronómicas y de calidad en el cultivo de pepino “spickler” bajo invernadero.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el tratamiento con mayor rendimiento en producción en el cultivo de pepino entorno a la concentración nitrato:amonio.
- Evaluar las variables morfo-agronómicas del cultivo de pepino a la aplicación de nitrato:amonio.
- Evaluar la calidad en base a los diferentes tratamientos aplicados en el cultivo de pepino.

## **HIPÓTESIS**

Al menos una concentración de nitrato:amonio de la solución nutritiva tendrá efecto en la productividad y calidad de fruto en el cultivo de pepino “spickler”.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen e historia del cultivo de pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) tiene su origen en las áreas tropicales del sur de Asia, donde se ha cultivado en India durante aproximadamente 3,000 años. La primera referencia literaria sobre el pepino aparece en el Atharva-veda, el cuarto texto más antiguo de la India, que data de principios del primer milenio antes de nuestra era (SADER, 2022).

El cultivo de pepino llegó a Norteamérica en el siglo XVI, gracias a los viajes de Cristóbal Colón, quien traía semillas de esta hortaliza entre sus provisiones. Con el tiempo, su cultivo se fue expandiendo por todo el continente a medida que los españoles exploraban América (SADER, 2022).

### 2.2 Importancia del cultivo de pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta de gran relevancia económica debido a su alto nivel de consumo, ya que se utiliza tanto como alimento fresco como en productos procesados. En diversas regiones del mundo, su valor agronómico se basa en su producción estacional, lo que hace necesario cultivarlo principalmente en condiciones protegidas (Rodríguez-Fernández & Girón-Acosta, 2021).

El pepino se puede consumir en diversas formas, como en ensaladas, jugos, o crudo, solo o con limón y chile piquín. También se presenta en encurtidos, conocidos como pepinillos, y se utiliza en productos cosméticos. Una de las cualidades más destacadas de esta hortaliza es su frescura. Además, es bajo en calorías, tiene un alto contenido de agua y es rico en minerales y antioxidantes. Su cultivo es importante no solo por sus beneficios nutricionales, sino también por su relevancia económica en el sector agrícola (PROFECO, 2020).

El pepino destaca por su alto contenido de ácido ascórbico y pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B. En términos de minerales, es una buena fuente de calcio, cloro, hierro y potasio. Además, sus semillas son ricas en aceites vegetales (Elías-Vigaud et al., 2020).

### **2.2.1 Producción Nacional**

En 2024, la producción nacional de pepino registró una caída de 7.5%, situándose en 959 mil toneladas, la cifra más baja desde 2015, cuando alcanzó 924 mil toneladas. Las entidades líderes en este cultivo, Sinaloa y Sonora, que en conjunto aportaron el 41% de la producción, también mostraron descensos: Sinaloa con una baja moderada de 1.5%, mientras que Sonora sufrió una reducción mucho más marcada de 33.7% (SIAP, 2024).

Las principales entidades productoras son Sinaloa, con 258,675 toneladas; Sonora, con 131,400 toneladas; Michoacán, con 100,305 toneladas; Morelos, con 84,299 toneladas; y Guanajuato, con 69,394 toneladas (SIAP, 2024).

### **2.2.2 Producción mundial**

En 2024, se registró una producción aproximada de 178 millones de toneladas, marcando un récord mundial (SIAP, 2024). Los cinco principales productores son: China, liderando con 68, 639,845.3 toneladas; seguido por India con 2, 050,135 toneladas, Turquía con 1742900 toneladas, Rusia con 169,3491.8 toneladas, Uzbekistán con 1, 021,485.2 toneladas y México con 959,037.9 toneladas (FAOSTAT, 2024).

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

### **Sistema radical**

El sistema de raíces del pepino es sumamente robusto, lo que contribuye a su alta productividad. Se compone de una raíz principal que se ramifica rápidamente, formando raíces secundarias superficiales, delgadas, alargadas y de un color blanco. Además, esta planta tiene la capacidad de desarrollar raíces adventicias por encima de la zona del cuello (Casaca, 2005).

## **Tallo**

El tallo principal del pepino es espinoso y flexible, con una forma angular y recubierto de pelos. Su crecimiento es indeterminado, adoptando una disposición rastrera y trepadora. Desde cada nudo se origina una hoja y un zarcillo en el lado opuesto. En la axila de cada hoja, se desarrolla un brote lateral junto con una o varias flores (Zamudio y Felix, 2014).

## **Hoja**

La hoja posee un peciolo largo, que mide entre 5 y 15 cm, y un limbo en forma de corazón con tres lóbulos, siendo el central el más destacado y usualmente terminado en punta. Su color es verde oscuro y está cubierto por un vello muy fino (Olin, 2021).

## **Flor**

Las flores del pepino presentan pétalos amarillos y se sostienen sobre un pedúnculo corto, brotando directamente de las axilas foliares. Aunque originalmente las variedades eran monoicas (con flores masculinas y femeninas por separado), la producción comercial actual utiliza principalmente plantas ginoicas. Estas últimas producen únicamente flores femeninas, las cuales se identifican fácilmente por poseer un ovario ínfero (Zamudio y Felix, 2014).

## **Fruto**

El fruto del pepino es una pepónide que puede presentar una textura áspera o lisa, dependiendo de la variedad. Su color varía desde un verde claro a un verde oscuro y se torna amarillento al alcanzar la madurez, aunque generalmente se cosecha antes de llegar a esta etapa. La pulpa es jugosa y de un color blanquecino, conteniendo semillas distribuidas a lo largo de su interior (Zamudio y Felix, 2014).

## **Semilla**

Las semillas de pepino cuentan con una cubierta que protege tanto las sustancias nutritivas como el embrión. Esta protección es crucial, ya que influye en la capacidad de la semilla para germinar y en el desarrollo adecuado de la plántula (Hidalgo-Rosas, 2020).

## 2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de pepino

El pepino es una hortaliza ligera y refrescante, con bajo aporte calórico gracias a su elevado contenido de agua y escasos carbohidratos. Aporta fibra, vitaminas como C, E y provitamina A, además de folatos y otras del grupo B; su piel contiene beta-carotenos con efecto antioxidante. Entre sus minerales destaca el potasio, esencial para la actividad muscular y el equilibrio hídrico, seguido de fósforo y magnesio que favorecen la salud ósea, la inmunidad y el buen funcionamiento intestinal. Asimismo, contiene pequeñas cantidades de beta-sitosterol con propiedades antiinflamatorias e hipoglucemiantes (PROFECO, 2021).

**Tabla 1. Contenido nutracéutico en el cultivo de pepino**

Composición por 100 gramos de porción comestible	
Energía (Kcal)	12
Agua (ml)	95,7
Proteínas (g)	0,7
Hidratos carbono (g)	2
Fibra (g)	0,8
Potasio (mg)	150
Fósforo (mg)	23
Magnesio (mg)	12
Folatos (mcg)	13
Vitamina A (mcg)	2
Vitamina C (mg)	5
Vitamina E (mg)	0,09

mcg = microgramos (millonésima parte de un gramo)

Fuente: Consumidor. (s/f).

## 2.5 Clasificación taxonómica de pepino

Nombre científico: *Cucumis sativus* L.

División: Embriophyta, Asiphonograma, Criptógamas vasculares.

Subdivisión: Angiosperma.

Clase: Dicotiledóneas, Simpétalas, tetracíclicas.

Orden: Cucurbitales.

Familia: Cucurbitacea.

Género: *Cucumis*

Especie: *sativus* L.

Fuente: (López, 2003).

## 2.6 Requerimientos nutricionales del cultivo de pepino

**Tabla 2. Requerimientos nutricionales para el cultivo de pepino**

Macronutrientes (g/m <sup>2</sup> )		Micronutrientes (g/m <sup>2</sup> )	
Nitrógeno (N)	14	Hierro (Fe)	60
Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2.6	Manganeso (Mn)	40
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	18	Cobre (Cu)	50
Calcio (Ca)	2.3	Zinc (Zn)	30
Magnesio (Mg)	1.3	Boro (B)	20
Azufre (S)	3		

Fuente (Intagri, 2017).

## 2.7 Relación nitrato:amonio

La relación entre nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se manifiesta en varios aspectos clave. Primero, aunque ambos nutrientes son absorbidos por las plantas, el NO<sub>3</sub> es la

forma más común en el suelo y se transporta con facilidad a través del xilema. Además, el  $\text{NO}_3^-$  debe ser convertido en amoníaco  $\text{NH}_4^+$  para su utilización en las plantas, lo cual ocurre en dos etapas mediadas por enzimas (Li et al., 2013).

La combinación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  favorece un aumento en la producción de materia seca y una mejor eficiencia en el uso del nitrógeno, en comparación con el uso individual de cada forma. Sin embargo, el uso exclusivo de  $\text{NH}_4^+$  puede generar toxicidad, afectando negativamente el crecimiento, mientras que el  $\text{NO}_3^-$  tiende a estimular el desarrollo de raíces laterales (Li et al., 2013).

Finalmente, las preferencias de absorción de estos nutrientes varían entre especies de plantas, cultivares y condiciones ambientales, lo que influye en la absorción y el pH del medio (Li et al., 2013).

### **2.7.1 Función fisiológica del nitrato**

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es absorbido activamente por las plantas, un proceso que requiere energía y es facilitado por enzimas específicas en las membranas celulares, especialmente en los pelos radiculares. La absorción de nitrato disminuye a bajas temperaturas y depende del molibdeno, que forma una proteína esencial para su transporte. Una vez dentro de la planta, el nitrato puede almacenarse en las raíces, ser reducido para formar aminoácidos o transportado por el xilema hacia los tallos. La reducción del nitrato ocurre en dos etapas enzimáticas: primero se convierte en nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que es rápidamente incorporado en compuestos orgánicos mediante enzimas como la glutamina sintetasa y el glutamato sintasa (Intagri, 2020).

### **2.7.1 Función fisiológica del amonio**

El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se absorbe tanto de forma activa como pasiva. Su absorción activa depende del suministro energético, aunque puede ocurrir cierta captación pasiva. El amonio se absorbe mejor a pH cercanos a 8 y su entrada en la raíz provoca un aumento en la absorción de aniones y una acidificación de la rizósfera para mantener el equilibrio eléctrico. A diferencia del nitrato, el amonio no necesita ser reducido, lo que implica un ahorro energético para la planta. Sin embargo, si no hay suficientes

carbohidratos para incorporarlo en compuestos orgánicos, el amonio puede acumularse y volverse tóxico, afectando el crecimiento y la absorción de otros nutrientes como el potasio (Intagri, 2020).

## **2.8 Soluciones nutritivas en la producción de pepino**

Diversas investigaciones han evaluado soluciones nutritivas aplicadas al cultivo de pepino. En cuanto a los requerimientos nutrimentales por tonelada de fruto fresco, se encontró que la variedad Reehan demanda aproximadamente 3.93 kg de N, 0.46 kg de P, 3.11 kg de K, 0.79 kg de Ca y 1.30 kg de Mg. Por su parte, la variedad Khassib requiere 5.87 kg de N, 0.49 kg de P, 3.11 kg de K, 0.85 kg de Ca y 1.54 kg de Mg (Alejo-Santiago et al., 2021).

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Ubicación del experimento**

El experimento se realizó durante marzo-junio de 2025, en el área de invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, la cual se ubica en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, a 25° 33' 26" latitud norte y 103° 22' 21" latitud oeste, a una altitud de 1,120 msnm.

#### **3.2 Material vegetal y siembra**

Como material vegetal se utilizó semilla de pepino "F1 Spickler" de la casa comercial de la semillera de Jalisco Agro, la siembra se realizó de forma directa en bolsas plásticas con un volumen de 15 litros, colocando una semilla por maceta, el sustrato utilizado fue arena: perlita en una proporción 70:30.

#### **3.3 Sistema de producción**

El experimento se realizó dentro de un invernadero tipo túnel con una superficie de 200 m<sup>2</sup>, con una cubierta de malla sombra tipo raschel (50% sombra), que nos permitió controlar de una manera más precisa las condiciones ambientales.

#### **3.4 Sistema de riego**

Se implementó un sistema de riego por estacas gotero tipo L, utilizando manguera con perforaciones a 25 cm colocando la piqueta de riego en cada una de las macetas.

#### **3.5 Manejo del cultivo**

##### Tutoreo

Para el tutoreo se utilizó rafia de color negro fijada con un anillo en la base del tallo, sostenidas a un alambre en la parte alta del invernadero a 2.5 metros de altura, posteriormente se fue enredando la planta a la rafia según el crecimiento de esta.

##### Poda

La forma de poda usada en el cultivo consistió en la eliminación de hojas viejas, hojas nuevas que se fueron formando en los primeros 50 cm de la base del tallo, y conforme la planta iba creciendo se hacía la poda después de las dos hojas del primer fruto hacia abajo, también se cortaron los brotes laterales que aparecieron en el tallo principal, de igual manera se realizó el corte de zarcillos.

**Tabla 3. Productos fitosanitarios aplicados para control de plagas y enfermedades**

<b>Función</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Dosis</b>
Insecticida	Flupyradifurone	Sivanto® Prime 200 SL	1.5 ml/ L
Insecticida	Dimetoato	Deltapyr 40 CE.	1.5 ml/ L
Insecticida	Abamectina	Abamectina Delta	2 ml/L

### 3.6 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se describen en la tabla 4, las concentraciones variaron de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo.

**Tabla 4. Descripción de tratamientos aplicados (g/L). (CaNO<sub>3</sub>: nitrato de calcio, KNO<sub>3</sub>: nitrato de potasio, MgNO<sub>3</sub>: nitrato de magnesio, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: sulfato de potasio, MgSO<sub>4</sub>: sulfato de magnesio, NH<sub>4(2)</sub>SO<sub>4</sub>: sulfato de amonio, HNO<sub>3</sub>: ácido nítrico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>: ácido fosfórico)**

<b>Fertilizante</b>	<b>Testigo (Steiner)</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
			g/L	
CaNO <sub>3</sub>	0.64	0.40	0.29	0.29
KNO <sub>3</sub>	0.20	0.24	0.59	0.29
MgNO <sub>3</sub>	0.42	0.44	0.37	0.18
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.42	0.39	0	0.17
MgSO <sub>4</sub>	0.02	0.01	0.07	0.13
NH <sub>4(2)</sub> SO <sub>4</sub>	0	0.13	0.198	0.26
			mL/L	
HNO <sub>3</sub>	0.06	0.02	0.10	0.06
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.06	0.09	0.03	0

### 3.7 Variables agronómicas evaluadas

**Altura de planta (cm):** se midió con un flexómetro desde la base del tallo hasta la punta apical de la planta.

**Diámetro de tallo (mm):** La medición se realizó con el apoyo de un vernier manual tomando como referencia la base del tallo principal.

**Peso fresco de planta (g):** Se cortó la planta desde la base del tallo, la cortamos en partes pequeñas de tal manera que entrara en una bolsa de papel sin romperse para pesarla en una báscula digital.

**Peso seco de planta (g):** las plantas se introdujeron en la estufa de secado durante un periodo de tiempo aproximado de 24 horas, cumpliéndose el tiempo dentro de la estufa se sacaron y se pesaron en una báscula digital.

**Peso fresco de raíz (g):** Se sacaron las raíces de las macetas para separarlas del sustrato, después se pesaron en una báscula digital.

**Peso seco de raíz (g):** Las raíces se introdujeron en bolsas de papel, posteriormente se metieron en la estufa de secado durante un periodo de 24 horas, cumpliéndose el tiempo dentro de la estufa se pesaron en una báscula digital.

**No. De Frutos:** Se contó el número de frutos cuajados de toda la planta.

**Rendimiento estimado (g):** Se hizo una estimación de rendimiento con el peso y número de frutos reportados.

**Diámetro polar (mm):** Se determinó midiendo la longitud total del fruto desde la base del pedúnculo hasta el ápice con un vernier manual.

**Diámetro ecuatorial (mm):** Se midió el grosor del fruto tomando como referencia la parte central con un vernier manual.

**Diámetro del mesocarpio (mm):** Se hizo un corte transversal (a la mitad, perpendicular a la longitud) del fruto para exponer el mesocarpio y después se midió con un vernier manual.

**Peso promedio del fruto (g):** Se pesaron todos los frutos cosechados con una báscula digital, y después se obtuvo el promedio.

**Firmeza (Kg):** Se presiona con la punta del penetrometro firmemente en la mitad del pepino hasta alcanzar la profundidad de medición marcada.

**Solidos solubles (° Brix):** se cortó el pepino a la mitad para extraer el jugo de la pulpa, se colocaron una o dos gotas en el refractómetro digital y se tomó lectura del resultado.

**Vitamina C (mg/100 g):** Se determinó utilizando el método de Thielman, el cual se basa en una reacción química sencilla de oxidación-reducción. Se utilizaron reactivos y muestras en las mismas cantidades en cada muestra y se tomaron los datos obtenidos los cuales se utilizaron para determinar el dato final con la siguiente fórmula:  
$$\text{Mg/100g} = \frac{(\text{ml gastados de reactivo de Thielman} \times 0.88 \times \text{VT} \times 100)}{\text{VA} \times \text{P}}$$

## 2.10 Análisis estadístico

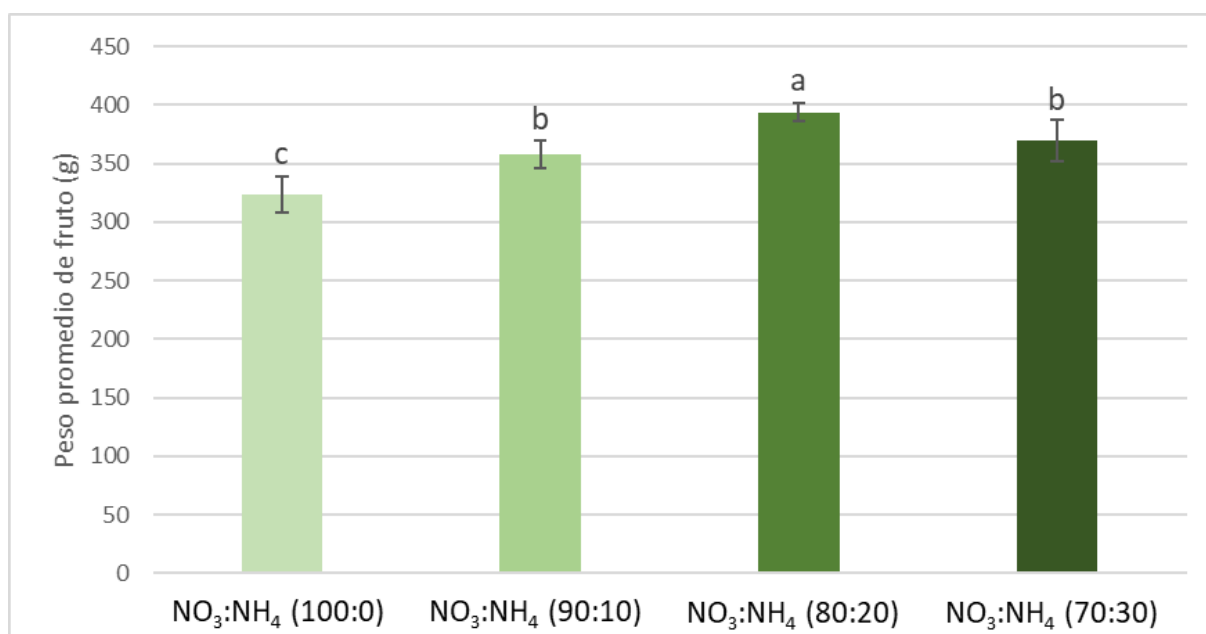
Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar con cinco repeticiones. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Peso promedio de fruto (g)

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la variable peso promedio de fruto, la proporción  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (80:20), superó en 21.64% el peso de frutos obtenido en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 1**). Esto se debe a que el amonio incrementa el peso y rendimiento en el cultivo de pepino principalmente porque actúa como una fuente de nitrógeno más eficiente energéticamente para la planta en comparación con el nitrato.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Valdez-Aguilar et al., (2024), quienes observaron que el ajuste adecuado de la concentración y balance iónico de la solución nutritiva favorece la absorción de nutrientes y su translocación hacia los órganos reproductivos, lo que se traduce en frutos de mayor peso y calidad. Sin embargo, Parra-Terraza et al., (2022) encontraron que relaciones con predominio de nitrato (80 %  $\text{NO}_3^-$ ) redujeron el rendimiento hasta en un 20.6 %, atribuyendo este efecto a desequilibrios en la nutrición mineral y a una menor eficiencia en el uso del nitrógeno.

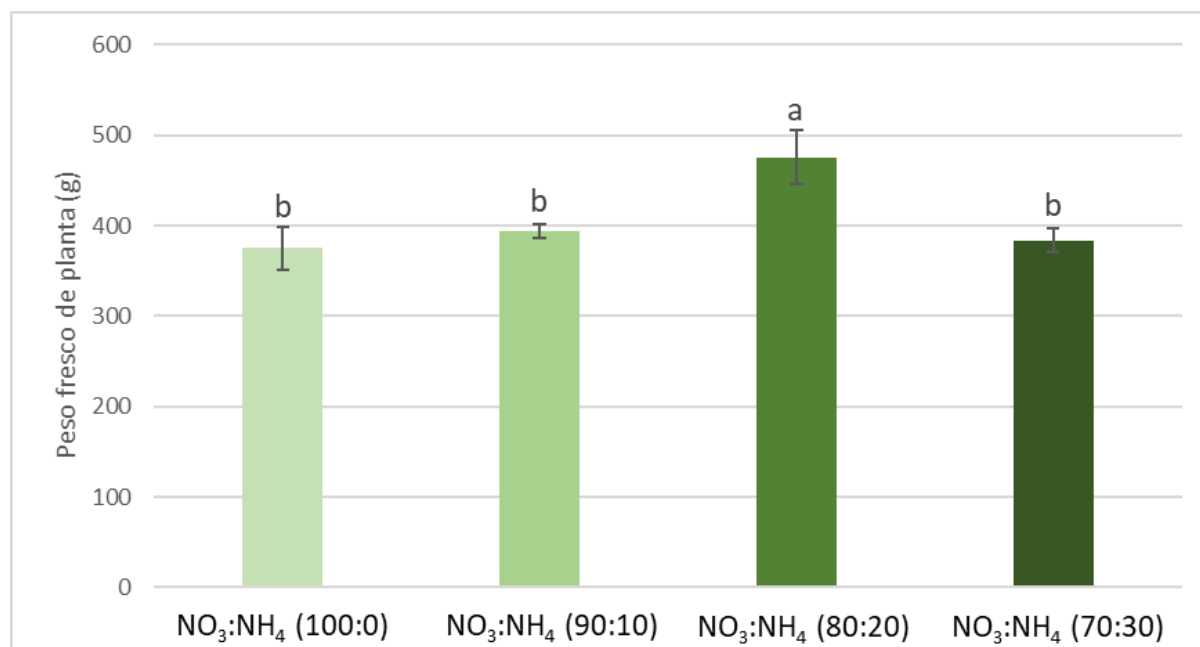


**Figura 1.** Peso promedio de fruto (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio ( $\text{NO}_3^-$ : nitrato,  $\text{NH}_4^+$ : amonio)

### Peso fresco de planta (g)

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias, para la variable peso fresco de planta, podemos observar que el tratamiento  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (80:20), superó en 26.65% el peso fresco de la planta obtenido en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 2**). Esto se debe a que hay un equilibrio óptimo ya que el nitrato asegura la nutrición sin toxicidad y el amonio aporta eficiencia metabólica, por lo cual se produce una planta más vigorosa, con mejor sistema radicular y mayor capacidad de retención de agua en los tejidos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Zhang et al. (2016), quienes observaron que la proporción (75:25) incrementó el peso fresco de la planta en 14 % y la materia seca en 19.3 %, gracias a una mayor eficiencia en la absorción de nitrógeno y actividad enzimática. En contraste, Yan et al. (2013) reportaron que relaciones como 10:0, 8:2, 5:5 y 2:8 de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  no generaron diferencias significativas en el crecimiento, ya que bajo condiciones ambientales favorables el desarrollo de las plantas fue similar entre tratamientos.

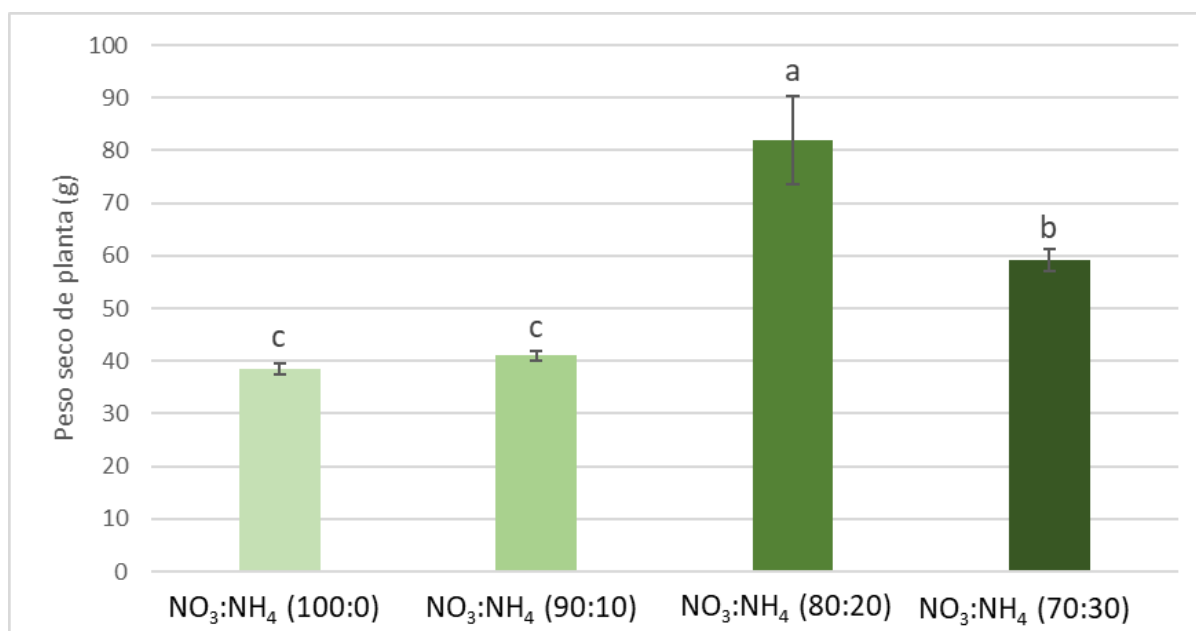


**Figura 2.** Peso fresco de planta (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato: amonio ( $\text{NO}_3^-$ : nitrato,  $\text{NH}_4^+$ : amonio)

### Peso seco de planta (g)

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la variable peso seco de planta, la proporción  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (80:20), superó en 113.54% el peso de frutos obtenido en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 3**). Esto se debe a que la nutrición mixta optimiza la eficiencia en la absorción de nitrógeno, equilibra el pH de la rizosfera y mejora la fotosíntesis, superando tanto el uso exclusivo de nitrato como a las altas concentraciones de amonio.

Esto coincide con lo reportado por Li et al. (2026), quienes encontraron que una proporción cercana a 13:1 (93:7) incrementó el peso seco total en 14 %, gracias a mejoras en fotosíntesis, absorción de nitrógeno y desarrollo radicular. Sin embargo, Zhang et al. (2016) señalaron que relaciones inadecuadas, especialmente con exceso de amonio, pueden reducir el crecimiento y la acumulación de biomasa debido a desequilibrios fisiológicos y menor absorción de nutrientes esenciales.

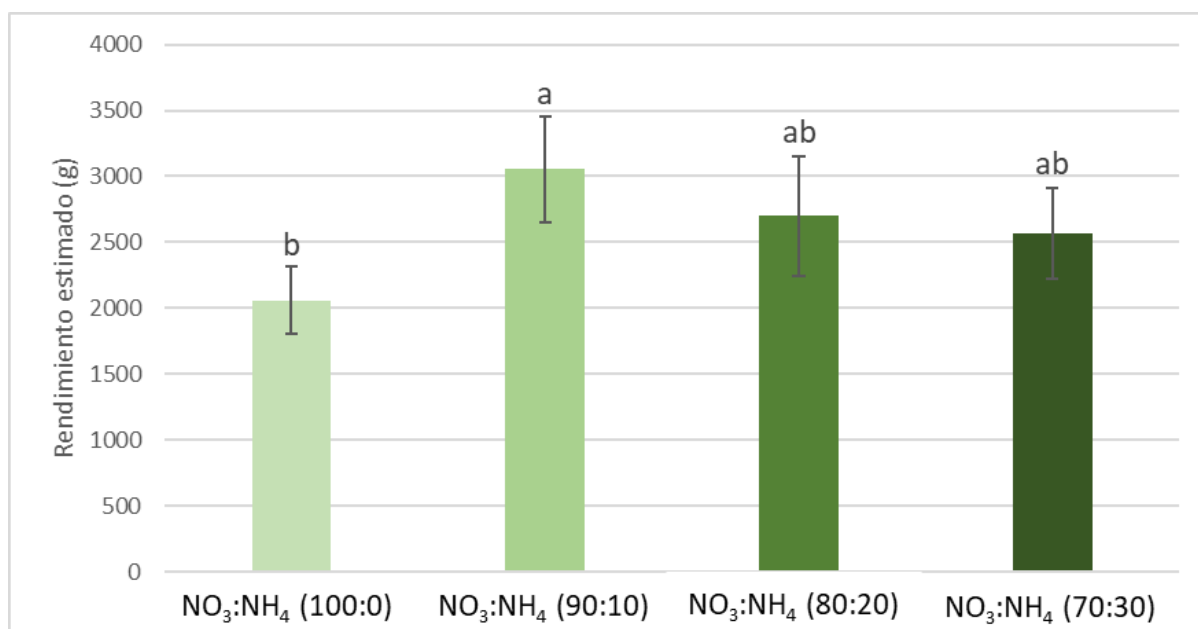


**Figura 3.** Peso seco de planta (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio ( $\text{NO}_3^-$ : nitrato,  $\text{NH}_4^+$ : amonio)

### Rendimiento estimado (g)

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la variable de rendimiento estimado, la proporción  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (90:10), superó en 48.30% el rendimiento estimado obtenido en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 4**). Esto se debe a que el nitrato maximiza la absorción de nutrientes esenciales, promueve un crecimiento equilibrado y evita toxicidades o desequilibrios fisiológicos asociados a un exceso de amonio.

Esto coincide con lo reportado por Roosta et al. (2025), quienes observaron que el cultivo en hidroponía con solución Hoagland aumentó el rendimiento por planta en 52.24 % respecto al suelo con solución Papadopoulos, gracias a una mayor disponibilidad y absorción de nutrimentos. En contraste, Parra-Terraza et al. (2016) mostraron que un mayor porcentaje de nitrato no siempre se traduce en mayor rendimiento, ya que las interacciones con otros nutrientes, como el potasio, influyen en la respuesta del cultivo. Esto evidencia que el efecto del nitrato depende del equilibrio general de la solución nutritiva y de las condiciones de cultivo.

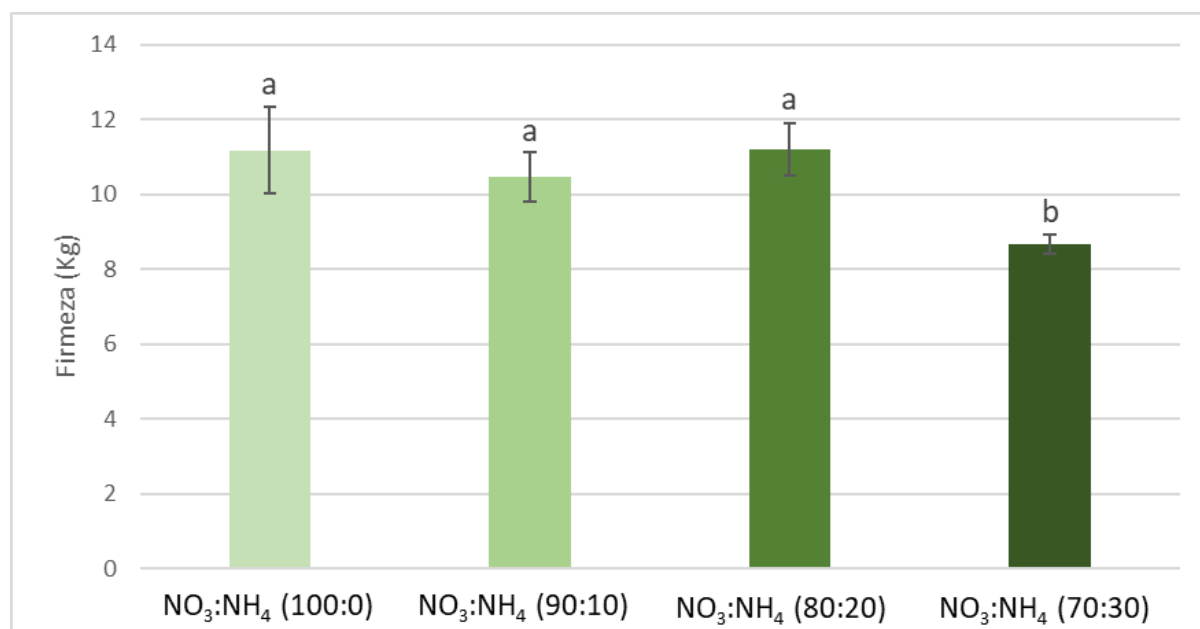


**Figura 4.** Rendimiento estimado (g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio ( $\text{NO}_3^-$ : nitrato,  $\text{NH}_4^+$ : amonio)

### Firmeza (Kg)

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la variable de firmeza, la proporción  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (80:20), superó en 29.29% la firmeza obtenida en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 5**). Esto se debe a que hay un mejor equilibrio catiónico-aniónico, la evitación de toxicidad y una estructura celular más sólida.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Roosta et al. (2025), quienes observaron que soluciones nutritivas balanceadas favorecen el desarrollo vegetativo, aumentan el número de frutos y mejoran características físicas como tamaño y firmeza. Nuestros resultados difieren a lo obtenido con Moreno-Velázquez et al. (2015) encontraron que, aunque distintas soluciones nutritivas pueden generar variaciones en la calidad poscosecha, ciertos parámetros físicos como la firmeza no mostraron diferencias significativas entre tratamientos cuando el suministro de nutrimentos era adecuado.



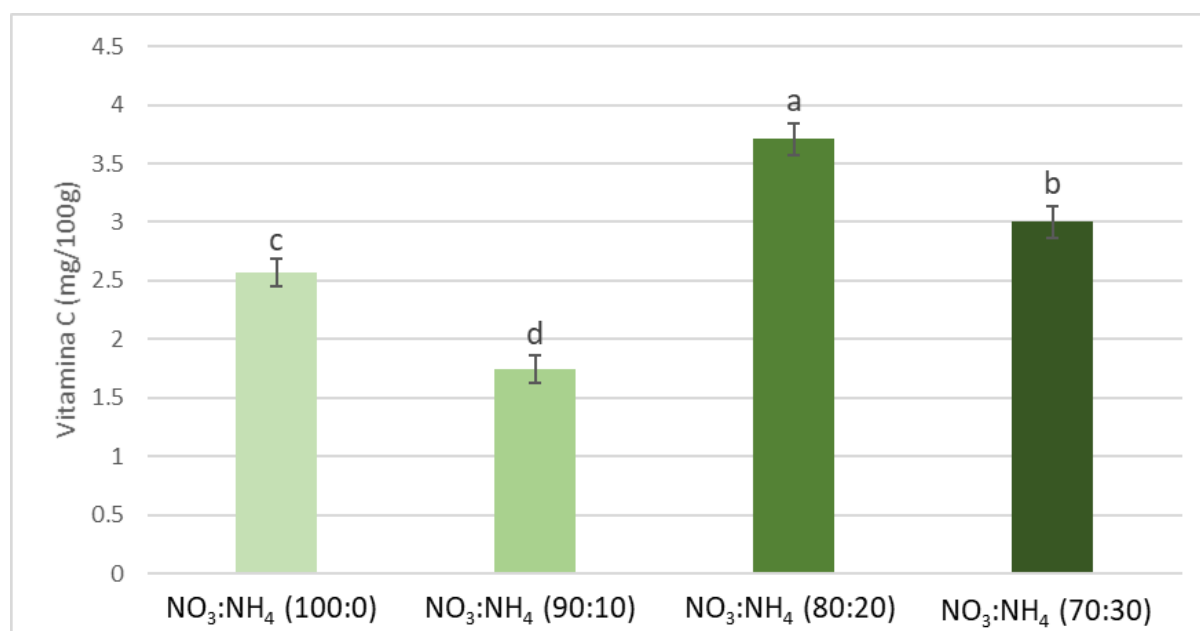
**Figura 5.** Firmeza (kg) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio ( $\text{NO}_3^-$ : nitrato,  $\text{NH}_4^+$ : amonio)

### Vitamina C (mg/100 g)

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la variable de vitamina C, la proporción  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  (80:20), superó en 112% la vitamina C obtenida en el tratamiento con solución Steiner (**Figura 6**). Principalmente porque esta mezcla optimiza el equilibrio

metabólico de la planta, promoviendo el crecimiento sin inducir la toxicidad asociada al exceso de amonio, al tiempo que asegura la asimilación eficiente de nitrógeno.

Esto coincide con lo reportado por Roosta et al. et al. (2025), quienes observaron que el uso de soluciones hidropónicas incrementó el contenido de vitamina C en los frutos hasta en 31.85 % respecto al cultivo en suelo, gracias a un mejor balance de nutrimentos. En contraste, Gao et al. (2024) encontraron que, al evaluar diferentes estrategias de manejo de la solución nutritiva el contenido de vitamina C no mostro diferencias significativas.



**Figura 6.** Vitamina C (mg/100 g) de pepino obtenido con diferente proporción nitrato:amonio (NO<sub>3</sub>: nitrato, NH<sub>4</sub>: amonio)

El análisis de varianza mostró que las variables agronómicas; altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de raíz y peso seco de raíz no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (**Tabla 5**) con distintas relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (100:0, 90:10, 80:20 y 70:30). Esto se debe a que todas las soluciones nutritivas evaluadas proporcionaron un suministro adecuado de nitrógeno para mantener el crecimiento vegetativo del cultivo. El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales más importantes para el desarrollo vegetal, ya que participa en la síntesis de proteínas, clorofila y ácidos nucleicos, por lo que su disponibilidad adecuada permite que las plantas mantengan un crecimiento relativamente estable aun cuando cambie la proporción de sus formas químicas (Liu et al., 2021).

**Tabla 5. Resultados obtenidos en las variables agronómicas del cultivo de pepino**

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de raíz (g)
Steiner (100:0)	416.34±4.28 a	9.44±1.03 a	35.4±5.5 a	3.8±1.32 a
90:10	414.26±17.20 a	<b>10.25±1.17 a</b>	<b>40.2±11 a</b>	<b>4.6±1.25 a</b>
80:20	<b>437.96±4.81 a</b>	9.71±1.02 a	40±9.5 a	4.2±1.16 a
70:30	419.18±6.14 a	9.24±1.27 a	33.2±3.5 a	3.6±1.2 a

En relación con la altura de planta, los resultados coinciden con investigaciones realizadas en pepino bajo condiciones de cultivo controlado, donde se ha observado que el crecimiento vegetativo depende principalmente del manejo agronómico, suministro total de nitrógeno y de las condiciones ambientales, más que de variaciones moderadas en la proporción entre nitrato y amonio (Randhe et al., 2026). De manera similar, el diámetro de tallo no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo cual indica que las proporciones evaluadas de nitrato y amonio no afectaron el desarrollo estructural del cultivo. Estudios sobre manejo agronómico del pepino han reportado resultados similares, señalando que variables de crecimiento como el diámetro del tallo pueden mantenerse estables cuando el cultivo recibe un suministro nutrimental adecuado (Ayala-Tafoya et al., 2019).

En cuanto al peso fresco de raíz, investigaciones sobre diferentes relaciones  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  han demostrado que ciertas proporciones pueden favorecer el desarrollo radicular; sin embargo, cuando el nitrógeno total disponible es suficiente, el crecimiento radicular puede mantenerse similar entre tratamientos (Zhang et al., 2016). De la misma manera, el peso seco de raíz no mostró diferencias significativas, lo que indica que la acumulación de biomasa radicular fue comparable en todas las soluciones nutritivas evaluadas. Estudios recientes sobre el impacto de los niveles de disponibilidad de nutrientes y la inoculación bacteriana en el crecimiento de la planta y la composición mineral han señalado que el peso seco radicular no se vio afectado significativamente por los diferentes niveles de disponibilidad de nutrientes. (Zuluaga et al., 2025). En conjunto, estos resultados indican que las diferentes relaciones

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  evaluadas no generaron limitaciones nutricionales que afectaran el crecimiento vegetativo del pepino. Esto concuerda con diversos estudios que señalan que el cultivo puede utilizar tanto nitrato como amonio como fuentes de nitrógeno, ajustando su metabolismo para mantener un crecimiento normal cuando el suministro total de este nutriente es adecuado (Liu et al., 2021).

**Tabla 6. Resultados obtenidos de rendimiento y calidad de fruto del cultivo de pepino**

Trat. ( $\text{NO}_3^-$ : $\text{NH}_4^+$ )	No. De frutos	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro mesocarpio (mm)	Sólidos solubles (°Brix)
Steiner (100:0)	6.2±0.48 a	<b>165.95±5.5 a</b>	<b>63.33±1.56 a</b>	17.16±1.2 a	3.07±0.37 a
90:10	<b>8.8±0.85 a</b>	165.16±3.6 a	61.67±2.56 a	17.03±1.1 a	<b>3.2±0.28 a</b>
80:20	7.2±1.2 a	158.19±3.5 a	60.28±1.35 a	16.26±1.5 a	3.03±0.26 a
70:30	7.2±1.30 a	165.83±2.5 a	60.42±2.05 a	<b>17.3±2.2 a</b>	3.14±0.34 a

Los resultados obtenidos evidencian que las variables evaluadas; número de frutos, diámetros polar, ecuatorial y mesocarpio, y sólidos solubles no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con distintas proporciones de nitrato y amonio (**Tabla 6**). Esto se debe a que, bajo un suministro total adecuado de nitrógeno, las plantas de pepino son capaces de ajustar su metabolismo para aprovechar ambas fuentes sin que ello repercuta en parámetros clave de rendimiento y calidad del fruto.

En relación con el número de frutos, la ausencia de variaciones entre tratamientos indica que la capacidad reproductiva del cultivo depende en mayor medida de factores genéticos, ambientales y de manejo agronómico, más que de la proporción específica de  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ . Esto coincide con lo reportado en estudios de producción en invernadero, donde no modificaron significativamente el número de frutos en las fuentes de N ni de la interacción entre las fuentes de N y las dosis de N del pepino japonés (Puiati et al., 2024).

Respecto al diámetro polar, investigaciones previas han demostrado que el tamaño del fruto se mantiene relativamente constante cuando las condiciones nutricionales son óptimas, independientemente de variaciones en la solución nutritiva (Vojnović et al., 2024). De manera similar, el diámetro ecuatorial, permaneció estable entre tratamientos en un estudio de dos híbridos de pepino cultivado en sistemas hidropónicos, lo que confirma que la morfología del fruto no se ve afectada por la relación de fuentes nitrogenadas cuando el suministro de macronutrientes es equilibrado (Cardoso et al., 2017).

El diámetro del mesocarpio, tampoco mostró diferencias significativas; esto se debe a que su desarrollo está más influenciado por la disponibilidad de agua y por factores genéticos del cultivar que por cambios moderados en la composición de la solución nutritiva, en concordancia con lo señalado por Sánchez-Del Castillo et al. (2017). Finalmente, el contenido de sólidos solubles, se mantuvo sin variaciones entre tratamientos, lo cual coincide con estudios que reportan estabilidad en este parámetro bajo condiciones de nutrición y ambiente favorables (Khan et al., 2021).

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo obtenido en el experimento podemos concluir que la combinación de nitrato y amonio modificando la solución nutritiva Steiner influye positivamente en el crecimiento y la calidad del fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.). Los tratamientos evaluados mostraron que, cuando el suministro total de nitrógeno es adecuado, el cultivo mantiene un desarrollo vegetativo estable; sin embargo, las proporciones intermedias de  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  favorecieron mejoras significativas en variables productivas y de calidad.

En particular, el tratamiento T3 (80:20) destacó al incrementar el peso promedio del fruto, la biomasa fresca y seca de la planta, la firmeza y el contenido de vitamina C, mientras que el tratamiento T2 (90:10) presentó el mayor rendimiento estimado. Estos resultados evidencian que un manejo balanceado de las fuentes de nitrógeno puede ser una estrategia eficiente para optimizar tanto la productividad como la calidad del pepino bajo condiciones de invernadero.

En términos generales, se concluye que el uso combinado de nitrato y amonio, en proporciones adecuadas, constituye una alternativa viable para mejorar el desempeño agronómico y la calidad nutricional del cultivo, aportando información útil para el manejo sustentable de la nutrición mineral en sistemas protegidos.

## 6. REVISION BIBLIOGRAFICA

- Aguirre-Cobeña, L., Salguero-Ramos, D., Bonilla-Bonilla, A., & Salazar-López, R. (2024). Evaluación del desempeño del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) frente a tres fertilizantes foliares en la parroquia Nuevo Paraíso, Orellana, Ecuador. *Bionatura Journal*, 1(1).
- Alejo-Santiago, G., Becerra-Venegas, S. G., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., & Juárez-Rosete, C. R. (2021). Requerimiento nutrimental y nutrición potásica en pepino Persa con poda a un solo tallo. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Ayala-Tafoya, F., López-Orona, C. A., Yáñez-Juárez, M. G., Díaz-Valdez, T., Velázquez-Alcaraz, T. D. J., & Parra Delgado, J. M. (2019). Densidad de plantas y poda de tallos en la producción de pepino en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 79-90.
- Cardoso, DSCP, Sedyama, MAN, Poltronieri, Y., Fonseca, MCM, & Neves, YF (2017). EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y LA RELACIÓN N:K DE LA SOLUCIÓN NUTRICIONAL PARA LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE PEPINO. *Revista Caatinga*, 30 (4), 818-824.
- Casaca, Á. D. (Abril de 2005). Gias Tecnologicas de Frutas y Vegetales. El Cultivo del Pepino, 3p. <https://dicta.gob.hn/files/2005,-El-cultivo-del-pepino,-F.pdf>
- Consumidor. (s/f). Introducción. Consumer.es. Recuperado el 05 de marzo de 2026, de <https://verduras.consumer.es/pepino/introduccion>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Panorama Agroalimentario 2025. Gobierno de México. <https://drive.google.com/file/d/129sMq0wcmWp9kBXLpGnsrGD8hbfA-8IB/view>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). El pepino y su vocación exportadora. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/articulos/el-pepino-y-su-vocacion-exportadora#:~:text=Las%20cinco%20principales%20entidades%20%C3%ADderes,y%20Guanajuato%20con%2062%2C998%20toneladas>
- Elías-Vigaud, Y., Rodríguez-Fernández, P., Fung-Boix, Y., Isaac-Aleman, E., Ferrer-Dubois, A., & Asanza-Kindelán, G. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en casa de cultivo semiprotectado bajo riego con agua magnetizada. *Ciencia en su PC*, 1, 75-86.
- FAOSTAT. (2024). Cultivos y productos de ganadería. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

- Gao, Y., Sang, J., Liang, H., Ji, Y., & Liu, M. (2024). The efficiency of adjusting nutrient solution renewal frequency on physicochemical properties and microbial community of cucumber exudates under closed cultivation tank. *PloS one*, 19(8), e0298910.
- Hidalgo Rosas, R. J. (2020). Evaluación del rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) ante la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas en la zona de Simón Bolívar provincia del Guayas (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).
- Intagri (2017). Producción de pepino en invernadero. Intagri.  
<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/produccion-de-pepino-en-invernadero>
- Intagri (2020). Formas Químicas de Absorción del Nitrógeno. Intagri.  
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/formas-quimicas-de-absorcion-del-nitrogeno>
- Khan, M., Zhang, Y., Liu, X., & Chen, J. (2021). Influence of nutrient solution management on yield and fruit quality of greenhouse cucumber. *Horticulturae*, 7(10), 394.
- Li, D., Guo, L., Tian, M., Gao, C., Wang, G., Zhang, S., ... & Li, X. (2026). La concentración elevada de [CO<sub>2</sub>] combinada con una proporción óptima de nitrato a amonio mejora el rendimiento del pepino y la eficiencia del uso del nitrógeno al mejorar la fotosíntesis y la morfología de la raíz. *Scientia Horticulturae*, 355, 114565.
- Li, S. X., Wang, Z. H., y Stewart, B. A. (2013). Respuestas de las plantas cultivadas al nitrógeno amoniacal y nítrico. *Avances en agronomía*, 118: 205-397.
- Liu, Y., Bai, L., Sun, M., Wang, J., Li, S., Miao, L., ... & Li, Y. (2021). Adaptación de plántulas de pepino al estrés por bajas temperaturas mediante la reducción de nitrato a amonio durante su transporte. *BMC plant biology*, 21 (1), 189.
- Lopez, C. (2003). Guía técnica del cultivo del pepino. Centa.  
[file:///C:/Users/loren/Downloads/Guia%20Centa\\_pepino%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/loren/Downloads/Guia%20Centa_pepino%20(1).pdf)
- Moreno Velázquez, D., Hernández Hernández, B. N., Barrios Díaz, J. M., Ibáñez Martínez, A., Cruz Romero, W., & Berdeja Arbeu, R. (2015). Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 637-643.
- Olin Valdes, J. O. (2021). El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en condiciones de cielo abierto e invernadero.
- Puiati, M., Fontes, PCR, Cecon, PR, & Alves, JDC (2024). Fuentes y dosis de N en el rendimiento del pepino japonés y la acumulación de nitratos en los frutos en invernadero. *Journal of Agricultural Science*, 10 (10).

- Parra Terraza, S., González Terán, G. E., Rubio Carrasco, W., & Hernández Verdugo, S. (2016). Relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/K<sup>+</sup> en la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de pepino hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1389-1400.
- Parra-Terraza, S., Angulo-Castro, A., López-Rodas, C. F., & Retes-Manjarrez, J. E. (2022). Relaciones magnesio y nitrógeno en soluciones nutritivas y el rendimiento de pepino en sistema hidropónico cerrado. *Terra Latinoamericana*, 40.
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2020). Pepino, fresco y saludable. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/documentos/pepino-fresco-y-saludable?state=published>
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). Pepino, refrescante y con propiedades. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/articulos/pepino-refrescante-y-con-propiedades?idiom=es>
- Randhe, RD, Hasan, M., Singh, DK, Naresh Kumar, S., Kumar, P., Alam, W., ... & Waghaye, AM (2026). Efecto de la fertirrigación basada en el peso sobre la fisiología, el intercambio de gases y el rendimiento del pepino y el pimiento sin suelo. *Scientific Reports* .
- Rodríguez-Fernández, P., & Girón-Acosta, J. (2021). Producción ecológica de pepino (*Cucumis sativus* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III Frente. *Ciencia en su PC*, 1(2).
- Roosta, HR, Sharifi Azad, H. y Mirdehghan, SH. (2025). Comparación del crecimiento, la calidad del fruto y las características fisiológicas del pepino fertirrigado con tres soluciones nutritivas diferentes en sistemas de cultivo en suelo y sin suelo. *Sci Rep* 15 , 203
- Samba, N., Nunomura, O., Lu, N., Johkan, M., Nakano, A., & Tsukagoshi, S. (2024). Crecimiento y productividad del pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo manejo cuantitativo de nutrientes basado en radiación solar en un sistema hidropónico. *Agronomía* , 14 (2), 296.
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E., & Colinas-León, M. (2017). Crecimiento y calidad de frutos de pepino en sistemas de producción protegida. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(2), 121-132.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022). De la familia de las cucurbitáceas, el pepino es el consentido. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/de-la-familia-de-las-cucurbitaceas-el-pepino-es-el-consentido?idiom=es>
- Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Velázquez, E., Hernández-García, R., Pérez-Rodríguez, P., & Alvarado-Camarillo, D. (2024). La humedad relativa y concentración de la solución nutritiva afectan el rendimiento, calidad y estado nutricional en pepino (*Cucumis sativus* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 42.

- Vojnović, Đ., Maksimović, I., Koprivica, G., Tepić Horecki, A., Milić, A., Adamović, B., Šumić, Z. e Ilin, Ž. (2024). Optimización de la fertirrigación de pepinos de invernadero mediante injertos: mejora del rendimiento, los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante. *Horticulturae* , 10 (11), 1135.
- Yan, QY, Duan, ZQ, Li, JH, Li, X., & Dong, JL (2013). Crecimiento del pepino y absorción de nitrógeno afectados por la temperatura de la solución y las proporciones de  $\text{NO}_3^-$ :  $\text{NH}_4^+$  durante la plántula. *원예과학기술지* , 31 (4), 393-399.
- Zamudio, G. B., A. Felix, R. (2014). Producción de pepino bajo invernadero en valles altos del estado de México. Folleto Técnico. INIFAP. Estado de Mexico.  
<https://es.scribd.com/document/279634649/produccion-de-Pepino-Bajo-Invernadero-Manual>
- Zhang, X. C., Liu, Y. M., Bai, L. Q., He, C. X., Yu, X. C., & Li, Y. S. (2016). 亚适宜温光环境下不同硝铵比营养液对黄瓜幼苗生长、氮吸收和代谢的影响 [Efectos de diferentes proporciones de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en el crecimiento de plántulas de pepino, la absorción de nitrógeno y el metabolismo bajo condiciones subóptimas de temperatura e intensidad lumínica]. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, 27(8), 2527–2534.
- Zuluaga, MYA, de Oliveira Caretta, T., Agostini, A., Monterisi, S., Fattorini, R., Cesco, S., & Pii, Y. (2025). Desbloqueando el crecimiento del pepino: explorando el impacto de los niveles de disponibilidad de nutrientes y la inoculación bacteriana en el crecimiento de la planta y la composición mineral. *Horticultura, Medio Ambiente y Biotecnología* , 1-16.