

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Amonio y la Aspersión de Calcio en el Crecimiento y Rendimiento de Higuera (*Ficus carica* L.) cv. "Black Mission" en Cultivos Sin Suelo

Por:

CRISTOBAL DÍAZ ROSAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Amonio y La Aspersión de Calcio en el Crecimiento y Rendimiento de Higuera (*Ficus carica L.*) cv. "Black Mission" en Cultivo Sin Suelo

Por:

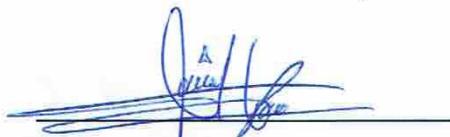
CRISTOBAL DÍAZ ROSAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal



M.C. Belén Guadalupe Muñoz Rocha

Asesor Principal Externo



Dr. Valentín Robledo Torres

Coasesor



Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

Declaración de no plagio

El autor es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

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

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de exigir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante

Asesor Principal



Cristobal Díaz Rosas



Dr. Armando Hernández Pérez

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Ocotlán

Por todas sus bendiciones por darme la vida, darme salud y bienestar que fue siempre y en todo momento, por darme permiso del poder culminar y realizar mi sueños y meta sen mi vida, por siempre acompañarme y guiarme por el camino correcto durante mi preparación académica y profesional.

A mis padres

SRA. AGUSTINA ROSAS ANAYA †

SR. HONORATO DÍAZ LÓPEZ

A mi madre Agustina Rosas Anaya, aunque no estes físicamente presente, pero yo sé que estas siempre a mi lado, y que te encuentras completamente orgullosa de mi triunfo, te dedico todo mi esfuerzo y dedicación como agradecimiento del poder confiar en mí y estar completamente segura de mandarme a estudiar a la Universidad de mis sueños, por ese amor de madre incondicional que en vida me diste infinitas gracias hasta el cielo.

A mi padre Honorato Díaz López y madre les dedico y ofrezco este trabajo que representa la culminación de la etapa más importante de mi vida, y al mismo tiempo el inicio de una nueva vida, quiero que sepan que a pesar de esa larga distancia me encuentro totalmente satisfecho por el apoyo incondicional en los momentos de triunfos y fracasos, que estuvieron presentes, animándome y demostrándome el apoyo incondicional declarándome todo aquel apoyo tanto económico como emocional, su arduo esfuerzo desarrollado para yo poder terminar mis estudios, el amor, cariño, la confianza y el cobijo de padres, guiándome con todos y cada uno de esos sabios consejos que han sido la base y parte de los cimientos para formarme como una persona de bien, por creer en mí, porque jamás me dejaron abandonado, por la gran y valiosa herencia que me han brindado, siempre estaré eternamente agradecido con todo mi amor, respeto y cariño, siendo todo este el

resultado de un gran proyecto realizado en equipo, entre padres e hijo quiero que sientan este triunfo suyo, al igual que mío.

A mis Hermanos

Cristian Díaz Rosas

Gracias por todo el apoyo incondicional, que siempre me brindaste por siempre animarme para jamás darme por vencido, en este camino de preparación por el simple hecho estar ahí en todo momento, por los buenos consejos y estar ahí en mi obstáculos y triunfos que se presentaron durante mi carrera profesional.

Uriel Yahir Díaz Rosas† Gracias por el amor y el cariño de niño tan preciado que en vida nos tuvimos y por todas tus bendiciones desde cielo y nunca dejarme solo y siempre cuidarme.

A mis tíos

Araceli Flores

Gerardo Díaz López

Por darme el apoyo incondicional durante mi carrera profesional, siempre me demostraron su presencia sin dejarme desamparado, su buena vibra y entusiasmo como personas.

A mis padrinos

Sandra Sánchez Mora

Gracias por el cariño y consejos, por ser un ejemplo de lucha y superación, por inspirarme a lograr mis metas y ser una mujer que lucha por su familia e hijo y también por cumplir sus objetivos.

Jesús Notario Díaz

Gracias por creer en mí siempre y darme sus buenos consejos como profesionalista, la confianza y motivación, por su humildad, resiliencia, coraje y motivarme a ser cada vez mejor y a luchar por las cosas para obtenerlas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de Ocotlán, por brindarme la vida, por darme esas fuerzas, sabiduría, paciencia, el amor y el entendimiento razonable no solo en mi etapa universitaria, sino también en toda mi vida, por darme las fuerzas necesarias para concluir mi meta de suma importancia y guiarme por el buen camino, en lo largo de mi carrera universitaria.

A mi Alma Terra Mater, La Universidad autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme recibido con los brazos abiertos y permitir que me desarrollara y que obtuviera los conocimientos académicos, necesarios para mi vida profesional, por sus instalaciones, sus dormitorios, y brindarme alimentación en su comedor y el permitir terminar mi carrera profesional en las mejores condiciones, dándome muchas amistades, amigas y amigos en las cuales se vivieron grandes y apreciables experiencias y convivencias, dentro de sus instalaciones quedando como las mejores en esta etapa de estudiante.

Al Dr. Armando Hernández Pérez, mi asesor principal por todo su apoyo incondicional, por creer en mí y darme un espacio en su proyecto por el financiamiento para terminar mi experimento, por estar siempre presente en resolver todas las dudas y ayudarme cuando no podía, gracias por su paciencia y su compromiso, en el estar al pendiente como un buen asesor, para así poder culminar mi proyecto, agradezco por su confianza por compartir buenos momentos en sus tiempos libres, por las risas y consejos los cuales siempre recordare, por brindarme todos sus conocimientos compartidos y por ser parte para terminar mi Licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Horticultura.

A la M.C. Belén Guadalupe Muños Rocha mi asesor externo, por ese apoyo incondicional, por siempre estar atenta en cualquier duda, ayudándome con sus conocimientos para darle buena estructura a la tesis.

A la M.C. Lizbeth Yuritzky López Torres por su apoyo incondicional, aclararme dudas en la redacción de la tesis, por apoyarme, aportar de sus conocimientos por esa buena amistad y compañía.

A Yareli Estefanía Yáñez Hernández por ayudarme durante el tiempo en el experimento y por nunca dejarme solo, por evitar que me derrumbara en mis tiempos difíciles y quebrantables que pase, por darme todo ese ánimo en todo momento, por compartirme sus risas y sus platicas por siempre estar ahí cuando más lo necesite.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| RESUMEN | XV |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivo general | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Hipótesis | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.0 Nitrógeno | 3 |
| 2.1. Amonio (NH_4^+) en los sistemas de producción..... | 3 |
| 2.1.1 Amonio en la producción de cultivos sin suelo..... | 4 |
| 2.1.2 Toxicidad por amonio | 4 |
| 2.2 Calcio (Ca) un nutriente esencial | 5 |
| 2.2.1. Funciones de calcio | 5 |
| 2.2.2 Papel del Ca en la maduración de los frutos..... | 6 |
| 2.2.2 Papel del Ca en la tolerancia al amonio..... | 6 |
| 2.3 Cultivo sin suelo | 7 |
| 2.4 Soluciones nutritivas | 8 |
| 2.4.1 Manejo de pH..... | 8 |
| 2.4.2 Conductividad eléctrica (CE)..... | 9 |
| 2.5. El cultivo de la higuera | 9 |
| 2.5.1 Origen del cultivo | 9 |
| 2.5.2 Clasificación taxonómica..... | 10 |
| 2.5.3 Descripción morfológica | 10 |
| 2.5.4. Ciclo de producción..... | 11 |
| 2.5.5. Requerimientos edafoclimáticos | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.5.6. Etapas fenológicas..... | 12 |
| 2.5.7 Producción a nivel mundial | 12 |
| 2.5.8 Producción a nivel nacional..... | 13 |
| 2.6. La Agricultura protegida | 14 |
| 2.6.1. Ventajas de la Agricultura protegida..... | 14 |
| 2.6.2. Desventajas de la agricultura protegida | 15 |
| 2.6.3 Producción de higo bajo agricultura protegida | 15 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 16 |
| 3.1. Localización | 16 |
| 3.2. Material Vegetal | 16 |
| 3.3. Tratamientos | 16 |
| 3.4. Diseño experimental | 17 |
| 3.5 Manejo del cultivo | 18 |
| 3.5.1. Riego con soluciones nutritivas..... | 18 |
| 3.5.2. Tutorio | 18 |
| 3.5.3. Podas (Deshoje y Deschuponado)..... | 18 |
| 3.5.4. Control de plagas y enfermedades | 18 |
| 3.6. Variables evaluadas | 19 |
| 3.6.1. Altura de la planta (AP) | 19 |
| 3.6.2. Diámetro de tallos (DT)..... | 19 |
| 3.6.4. Índice del contenido relativo de clorofila (ICRC) | 19 |
| 3.6.5. Peso promedio de fruto (PPF)..... | 19 |
| 3.6.6. Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)..... | 19 |
| 3.6.7. Rendimiento por higuera (Rnto)..... | 20 |
| 3.6.8. Peso seco de hojas, tallo y aéreo | 20 |
| 3.6.9. Análisis estadístico..... | 20 |

| | |
|---|----|
| IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 21 |
| 4.2.1 Altura de plantas (AP) | 23 |
| 4.2.2 Peso seco de hoja..... | 24 |
| 4.2.3 Diámetro polar de fruto | 26 |
| 4.2.4 Diámetro ecuatorial del fruto | 27 |
| 4.2.5 Peso promedio de fruto..... | 28 |
| 4.2.6 Rendimiento de fruto..... | 29 |
| V CONCLUSIÓN | 31 |
| VI LITERATURA CITADA | 32 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv Black Mission..... | 17 |
| Cuadro 2. Fechas de aspersión del Ca en el follaje de higuera cv. Black Mission | 17 |
| Cuadro 3. Efecto de amonio (NH_4^+) y calcio (Ca) en la altura de planta, diámetros de tallo, peso seco de tallo, peso seco de hoja y Peso seco aereo de la higuera cv. Blanck Mission en cultivo sin suelo. | 21 |
| Cuadro 4. Efecto de amonio (NH_4^+) y calcio (Ca) en el índice de contenido relativo de clorofila (ICRC), diámetro polar y ecuatorial de higo (DPH y DEH), peso promedio del higo (PPH) y rendimiento por planta de higo cv. Blanck Mission en cultivo sin suelo..... | 23 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Principales países productores de higo en el 2022 de acuerdo con datos reportados por FAOSTAT(Elaboración propia). | 13 |
| Figura 2. Principales estados productores de higo en México en el 2020 de acuerdo con datos obtenidos de SIACON (Elaboración propia). | 14 |
| Figura 3. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en la altura de la higuera cv. Black Mission. | 24 |
| Figura 4. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el peso seco de hoja de la higuera cv. Black Misión. | 25 |
| Figura 5. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el diámetro polar del fruto de la higuera cv. Black Mission. | 26 |
| Figura 6. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el diámetro ecuatorial del fruto de la higuera cv. Black Mission. | 28 |
| Figura 7. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el peso promedio del fruto de la higuera cv. Black Mission. | 28 |
| Figura 8. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el rendimiento del fruto de la higuera cv. Black Mission. | 30 |

RESUMEN

En los últimos años la producción de higuera ha migrado a producciones intensivas gracias a la incorporación de tecnologías como estructuras de protección, sistemas de fertirrigación o producción en cultivo sin suelo. Por otra parte, la proporción nitrato-amonio en la solución nutritiva, y considerando que la higuera es una especie calcícola, es importante conocer la mejor relación de estos elementos que permita incrementar la producción. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de las diferentes concentraciones de amonio en la solución nutritiva y la concentración de calcio foliar, en el crecimiento y rendimiento de la higuera. Se evaluaron tres concentraciones de amonio (0, 40 y 80 %) y dos aplicaciones foliares de calcio (0 y 10 g L⁻¹), dando así un total de seis tratamientos, los cuales fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial de 3 x 2 con cuatro repeticiones. Se evaluó: altura de la planta (AP), diámetro de tallo (DT), índice del contenido relativo de clorofila (ICRC), peso promedio de fruto (PPH), diámetro ecuatorial (DEH) y polar (DPH), rendimiento por planta, peso seco de hoja (PSH), de tallo (PST) y aéreo (PSA). El peso seco aéreo en promedio se redujo 15 % con el suministro de amonio. El índice de contenido relativo de clorofila se incremento 11.88 % con el 80 % de amonio. En las higueras irrigadas con el 40 % de amonio el rendimiento por planta aumento 21.06 % respecto al suministro de 80 % de amonio y 9.43 % en comparación con las plantas testigo. La aspersion de 10 g L⁻¹ calcio aumentó 7.64 % el rendimiento por planta. La interacción de 40 % de amonio y 10 g L⁻¹ de calcio registraron un incremento del 26.27 % el rendimiento por planta en comparación con las higueras testigo. En general el suministro de amonio y calcio promueven mayor rendimiento por planta.

Palabras clave: Toxicidad, soluciones nutritivas, biomasa seca, calidad.

I. INTRODUCCIÓN

Ficus carica L. es un árbol frutal perteneciente a la familia Moraceae, caracterizado por un tronco grueso y madera frágil (Walter-Nievas *et al.*, 2021). En 2022, la producción internacional de higo fue representada por 53 países, destacando Turquía como el mayor productor con 350,000 toneladas (t), seguido de Egipto, Argelia, Marruecos e Irán (FAOSTAT, 2022). México ocupa el 23° lugar mundial con una producción anual de 11,724 t, donde el estado de Morelos lidera con una superficie de 487.5 hectáreas y un rendimiento de 3,428 t. Otros estados como Veracruz, Michoacán, Baja California Sur y Puebla también contribuyen significativamente, sumando 1,472 hectáreas y 10,028 t anuales (SIACON, 2022).

Tradicionalmente, la producción de higo se realiza en campos abiertos mediante sistemas extensivos con densidades de plantación menores a 1,300 plantas por hectárea. Sin embargo, la incorporación de tecnologías como estructuras de protección (macro-túneles y mallas sombra), sistemas de fertirrigación y manejo avanzado ha incrementado las densidades a casi 4,000 plantas por hectárea. Investigaciones recientes han propuesto sistemas intensivos bajo invernadero con densidades superiores a 12,000 plantas por hectárea, riego localizado en sustrato de tezontle, soluciones nutritivas y sistemas de conducción con rafia. Este enfoque permite rendimientos superiores a 100 t/ha, aunque implica una poda intensiva y manejo especializado (INTAGRI, 2020).

Los sistemas sin suelo son altamente eficientes en el uso del agua, logrando reciclar hasta el 85–90 % del riego y reduciendo el consumo comparado con métodos tradicionales (Bihari *et al.*, 2023). Además, eliminan enfermedades del suelo y disminuyen la necesidad de pesticidas, contribuyendo a una menor huella ambiental. Por otra parte, el nitrógeno (N) es uno de los nutrientes que cobra gran importancia en la fertilización de los cultivos por su influencia en el crecimiento y desarrollo. Las formas principales en que las plantas aprovechan este nutrimento son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) (Rivera-Espejel *et al.*, 2014). Las técnicas

señaladas anteriormente y la combinación del uso de fertilizantes basados en NH_4^+ tienen el potencial de mejorar rendimientos y reducir la degradación ambiental, aunque su eficiencia de esta forma de N, depende de la especie o genotipo y de la proporción $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (Shrivastava *et al.*, 2023; Shilpha *et al.*, 2023).

El calcio (Ca) juega un papel fundamental en la integridad de las membranas vegetales, la estabilidad de la pared celular, el transporte de iones y la regulación de actividades enzimáticas (Robles, 2020). Pero, la interacción entre Ca y NH_4^+ influye en los procesos fisiológicos y bioquímicos, potenciando la tolerancia al estrés por NH_4^+ (Hernández-Gómez *et al.*, 2014; Gholamnejad *et al.*, 2022). Este conocimiento es clave para optimizar estrategias de manejo en sistemas de producción intensiva de higo, promoviendo altos rendimientos con menor impacto ambiental.

1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de las diferentes concentraciones de amonio en la solución nutritiva y de la dosis de calcio foliar, en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv. Black Mission.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las tres concentraciones de NH_4^+ en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv. Black Mission.
- Determinar el efecto de la aspersion foliar de Ca en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv. Black Mission.
- Estimar la mejor interacción entre la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva y de la aspersion foliar de Ca que incremente la producción del higo.

1.3 Hipótesis

Al menos una combinación de las concentraciones de amonio y dosis de calcio, impactaran en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv. Black Mission.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.0 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento crítico en la agricultura, sirviendo como nutriente fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es esencial para la síntesis de proteínas, clorofila, y otras biomoléculas, por lo que es indispensable para la productividad de los cultivos (Shilpha *et al.*, 2023; Yadav, 2024). La disponibilidad de N como nutriente esencial es uno de los principales factores limitantes para el crecimiento y rendimiento de las plantas, pudiendo reducir la productividad hasta en un 50% (Bittsánszky *et al.*, 2015).

Por otro lado, las principales fuentes de nitrógeno inorgánico en el suelo son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+), las cuales constituyen las formas más comunes de absorción de este nutriente por las plantas (Kumari, 2022).

2.1. Amonio (NH_4^+) en los sistemas de producción

El NH_4^+ es la segunda opción de las formas en las que el N puede ser absorbido por las plantas, para poder llevar a cabo sus actividades metabólicas, de este modo el N es absorbido y es incorporado inmediatamente en compuestos orgánicos (Cervantes y Hernández, 2020). Asimismo, el NH_4^+ juega un papel crucial en la nutrición y el crecimiento de los cultivos, influyendo en diversos procesos fisiológicos y resultados de rendimiento en diferentes sistemas de producción. Su impacto varía según el tipo de cultivo, las condiciones del suelo, y el equilibrio con el NO_3^- (Chen *et al.*, 2024).

El NH_4^+ se considera más eficiente energéticamente que el NO_3^- ya que, se encuentra en una forma reducida, facilitando el metabolismo de los aminoácidos. Esto puede ser ventajoso para mejorar la eficiencia en el uso de nitrógeno y reducir los costos energéticos asociados con la asimilación de este nutrimento en las plantas cultivadas (Shilpha *et al.*, 2023). No obstante, su efectividad varía según los sistemas de producción; en climas fríos y sistemas de riego, los fertilizantes de amonio pueden conducir a una mayor toxicidad debido a la nitrificación inhibida. Ciertas especies/genotipos exhiben niveles de tolerancia variables, y algunos

prefieren el amonio sobre el nitrato, destacando la importancia de optimizar las proporciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ para mejorar la productividad de los cultivos (Shilpha *et al.*, 2023). Algunos ejemplos está el arroz, muestra preferencia por el amonio, con una relación de óptimo de 75:25 ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) que conduce a mejoras significativas en la biomasa y características fotosintéticas (Chen *et al.*, 2024). Por el contrario, el cultivo de maíz y la soja prefieren el nitrato, y el exceso de amonio puede reducir el rendimiento y la calidad (Chen *et al.*, 2024).

2.1.1 Amonio en la producción de cultivos sin suelo

Las técnicas de cultivo sin suelo basados en el suministro de NH_4^+ , tienen el potencial de aumentar los rendimientos de los cultivos y reducir la degradación ambiental al combinar los beneficios de los sistemas sin suelo con la eficiencia de N en forma de NH_4^+ como fertilizante base. Las técnicas de cultivo sin suelo, como la hidroponía y la acuaponia, son conocidas por su capacidad para mejorar la productividad de los cultivos mientras se minimiza el uso de recursos y el impacto ambiental, cuando se integran con fertilizantes a base de NH_4^+ , estos sistemas pueden optimizar aún más la absorción de nutrientes y reducir las emisiones asociadas con los fertilizantes tradicionales (Shrivastava *et al.*, 2023; Kumar y Verma, 2024).

Por otra parte, el impacto del NH_4^+ en el crecimiento y rendimiento de los cultivos en sistemas hidropónicos es multifacético, involucrando efectos tanto beneficiosos como perjudiciales. Si bien el NH_4^+ puede servir como una fuente de nitrógeno energéticamente eficiente, su presencia excesiva a menudo conduce a fitotoxicidad, afectando el crecimiento y rendimiento de las plantas. El equilibrio entre el NH_4^+ y otros nutrientes, como el potasio, es crucial para optimizar la salud de las plantas y la productividad en los sistemas en la producción de cultivos sin suelo (Song *et al.*, 2022; Shilpha *et al.*, 2023).

2.1.2 Toxicidad por amonio

La toxicidad del NH_4^+ en los cultivos es una preocupación importante debido a su impacto en el crecimiento y productividad de las plantas. Esta toxicidad surge principalmente cuando el NH_4^+ es la única o dominante fuente de nitrógeno, dando

lugar a diversas alteraciones fisiológicas y metabólicas en las plantas (Xiao *et al.*, 2023).

Los síntomas mayormente expresados en las plantas por una toxicidad por NH_4^+ son: clorosis en hojas, marchitamiento, disminución del crecimiento y del rendimiento y, en casos muy extremos, la muerte de la planta (Rivera *et al.*, 2014). Por su parte, Shilpha *et al.*, (2023) mencionan que, los principales indicadores fenotípicos de la toxicidad por NH_4^+ en las plantas son el crecimiento restringido de las raíces y la clorosis de las hojas. La toxicidad del NH_4^+ también se acompaña de niveles más bajos de clorofila a, b y carotenoides, una disminución en la tasa fotosintética y un aumento en la producción de etileno.

El amonio ofrece beneficios en términos de eficiencia energética y posibles mejoras en el rendimiento, sin embargo, su aplicación debe manejarse cuidadosamente para evitar la toxicidad. Además es importante considerar el equilibrar del amonio con nitrato, las condiciones específicas del cultivo y del medio de crecimiento.

2.2 Calcio (Ca) un nutriente esencial

El Ca juega un papel esencial en los procesos que preservan la integridad estructural y funcional de las membranas vegetales, estabilizan las estructuras de la pared celular, regulan el transporte de iones, así también, regulan las actividades enzimáticas. La absorción del Ca puede ser competitivamente disminuida por la presencia de otros cationes como amonio, potasio, magnesio, sodio, aluminio y los propios protones, que bien son absorbidos con mayor rapidez por la planta, u ocupan un sitio en los puntos de intercambio de la superficie radicular (Robles, 2020).

2.2.1. Funciones de calcio

El Ca es un nutriente esencial para las plantas, desempeñando un papel clave en la formación de las paredes y membranas celulares. Esto refuerza la estructura celular y ayuda a mantener barreras físicas que protegen contra patógenos. Las plantas con deficiencia de Ca son más vulnerables a las enfermedades, mientras que el aporte de Ca externo puede aumentar su resistencia. Además de su función

estructural, investigaciones recientes han revelado que el calcio actúa principalmente como un segundo mensajero en procesos de señalización. Este rol es crucial para coordinar respuestas a diversas señales fisiológicas, de desarrollo y ambientales, incluyendo la interacción con otros nutrientes y la defensa frente a patógenos (Thor, 2019).

2.2.2 Papel del Ca en la maduración de los frutos

El Ca participa en la regulación de la reproducción sexual en las flores, en la germinación y elongación de los tubos de polen, así como en la expansión celular durante el proceso de maduración de frutos (Maldonado-Torres *et al.*, 2020).

El Ca es un nutriente fundamental para la maduración, la calidad y la vida útil (poscosecha) de los frutos, gracias a su papel en la estructura de la pared celular y su función como mensajero secundario a nivel celular. Este elemento ayuda a retrasar la pérdida de firmeza, aumentar la masa de los frutos, reducir la pérdida de peso durante el almacenamiento y prolongar su vida útil, favoreciendo su comercialización. Además, el Ca limita la actividad de las enzimas que degradan la pared celular, disminuye la producción de etileno, retrasa el pico climatérico y modera su intensidad, lo que contribuye a un retraso en los cambios de color de los frutos. En términos de composición, el Ca reduce los niveles de azúcar y retrasa su punto máximo en el periodo poscosecha, manteniendo una alta acidez total, lo que beneficia la calidad del producto. También se ha observado que la aplicación de calcio disminuye la incidencia de ciertos desórdenes fisiológicos, mejorando así la conservación y apariencia de los frutos (Jaime-Guerrero *et al.*, 2024).

2.2.2 Papel del Ca en la tolerancia al amonio

Las aplicaciones foliares de Ca juegan un papel crucial en la mitigación de los efectos adversos de la nutrición con NH_4^+ puede alterar el equilibrio de nutrientes y perjudicar el crecimiento de las plantas. La interacción entre Ca y NH_4^+ afecta diversos procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas, potenciando su capacidad para tolerar el estrés al NH_4^+ (Hernández-Gómez *et al.*, 2014; Gholamnejad *et al.*, 2022).

Se ha demostrado que el Ca suplementario mejora la toxicidad del NH_4^+ al mejorar el estado hídrico en plantas. Lo anterior se corroboró en un cultivo de pimiento, los cuales sufren un crecimiento reducido en condiciones altas de NH_4^+ . Las aplicaciones suplementarias de Ca permitieron restaurar la conductancia hidráulica radicular y las relaciones de agua, revirtiendo parcialmente las reducciones de crecimiento causadas por el NH_4^+ (Hernández-Gómez *et al.*, 2014). En las plantas de tomate, la aplicación de Ca en soluciones nutritivas mejoró el movimiento y la partición del Ca, lo cual es crucial para mantener la salud de las plantas bajo diversas formas de nitrógeno, incluido el NH_4^+ (Gholamnejad *et al.*, 2022). Si bien las aplicaciones de calcio pueden mejorar la absorción de amonio y mitigar sus efectos negativos de este, el equilibrio entre calcio y amonio es crucial. El exceso de calcio puede conducir a desequilibrios de nutrientes, y sus beneficios pueden variar dependiendo de las especies de plantas y las condiciones ambientales.

2.3 Cultivo sin suelo

El cultivo sin suelo, que abarca técnicas como hidroponía, aeropónica y acuapónica, ha demostrado potencial para aumentar el rendimiento y la calidad de los árboles frutales al tiempo que reduce el impacto ambiental. Estas técnicas ofrecen una alternativa sustentable a la agricultura tradicional basada en el suelo al optimizar el uso de recursos y minimizar las huellas ecológicas. La evidencia de diversos estudios sugiere que el cultivo sin suelo puede mejorar significativamente la productividad y calidad de los cultivos, convirtiéndolo en una opción viable para la agricultura sustentable. Se ha demostrado que la técnica de cultivo sin suelo aumentan los rendimientos de los cultivos. Por ejemplo, en tomates basado en sustrato resultó en un aumento del 10.1 % en el rendimiento en comparación con el cultivo del suelo (Guo *et al.*, 2022). Por otra parte, esta técnica de producción permite un control preciso sobre la entrega de nutrientes, lo que lleva a productos más consistentes y de mayor calidad (Kumar y Verma, 2024)

Los sistemas sin suelo son altamente eficientes en el uso del agua, en algunos sistemas se recicla hasta 85– 90 % del agua de riego bajo un sistema cerrado,

reduciendo significativamente el consumo de agua en comparación con los métodos tradicionales (Bihari et al., 2023). Por otra parte, estas técnicas eliminan las enfermedades transmitidas por el suelo y reducen la necesidad de pesticidas, contribuyendo a una menor huella ambiental (Bihari *et al.*, 2023). El cultivo sin suelo se puede adaptar a diversas condiciones ambientales, por lo que es adecuado para regiones con tierras cultivables limitadas (Kumar y Verma, 2024).

Si bien el cultivo sin suelo ofrece numerosas ventajas, es importante tener en cuenta los costos iniciales de instalación y la experiencia técnica requerida para estos sistemas. Además, la investigación continua y los avances tecnológicos son necesarios para optimizar aún más estos métodos y hacerlos más accesibles para una gama más amplia de cultivos (Kumar y Verma, 2024).

2.4 Soluciones nutritivas

Una solución nutritiva (SN) es una solución en forma acuosa con una mezcla de oxígeno disuelto, y con todos los nutrientes que son esenciales en modo de iones disociados en “cationes y aniones” favoreciendo la adsorción nutrimental hacia los cultivos. La función principal de la SN es abastecer de nutrientes minerales a las plantas cultivadas (Cedillo, 2021). Una SN siempre debe contener los nutrientes esenciales que le permiten a la planta completar su ciclo vital y producir semillas fértiles. Estos nutrientes son: N, P, K, Ca, Mg, y S conocidos como macronutrientes debido a una mayor demanda por parte de los cultivos y los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn, y Mo), los cuales son requeridos en una menor proporción (Cajo, 2016).

2.4.1 Manejo de pH

El rango de pH óptimo para las soluciones nutritivas en hidroponía es generalmente entre 5.5 y 6.5, ya que, este rango apoya la disponibilidad óptima de nutrientes y el crecimiento de las plantas. Este rango está respaldado por diversos estudios, los cuales destacan la importancia de mantener el pH dentro de estos límites para asegurar el desarrollo saludable de las plantas y la captación de nutrientes (Da Silva *et al.*, 2019; Gillespie *et al.*, 2020)

2.4.2 Conductividad eléctrica (CE)

La CE de la solución nutritiva se define como una medida de todas las sales disueltas en el agua, incluyendo las que se agregan con el fertilizante y las que se encuentran presentes en forma de impurezas en la fuente de agua. Las medidas de la CE varían con los distintos cultivos, pero se encuentran con frecuencia dentro del rango de 1.0 a 2.0 mS cm⁻¹. Una CE baja indica que no se está suministrando suficiente fertilizante para satisfacer las necesidades de las plantas (HANNA, 2016).

La CE de una solución nutritiva es un factor crítico para optimizar los rendimientos de los cultivos, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las plantas. La investigación indica que la CE puede ser utilizada como una herramienta predictiva para optimizar los rendimientos de los cultivos, pero el nivel óptimo de CE varía según el cultivo y las condiciones de crecimiento. Esta variabilidad resalta la importancia de adaptar los niveles de CE a los requerimientos específicos de los cultivos y a las condiciones ambientales (Oliveira *et al.*, 2022).

2.5. El cultivo de la higuera

2.5.1 Origen del cultivo

La infrutescencia que se consume hoy en día es originaria del Asia occidental y el Mediterráneo, el higo (*Ficus carica* L.), forma parte de la familia de las Moraceae (*moráceas*). Existen vestigios que indican que los higos se cultivaban en Anotoli, su lugar de origen, entre los años 3000 y 2000 a.C. Hoy en día, se estima que se producen más de un millón de toneladas de higos en todo el mundo al año, siendo Turquía, Egipto, Irán, Grecia y Argelia los principales países productores (CODEX, 2006).

De acuerdo con SIAP (2020), se considera que, el higo fue introducido a México por los misioneros franciscanos españoles en 1683, quienes colocaron diversas plantas en los atrios de las iglesias en algunos estados como Hidalgo, Guanajuato, Morelos, San Luis Potosí o Zacatecas.

2.5.2 Clasificación taxonómica

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Orden: Urticales

Familia: *Moráceas*

Subfamilia: *Ficeae*

Género: *Ficus*

Especie: *Carica*

Nombre científico: *Ficus Carica* L.

Nombre común: Higo

2.5.3 Descripción morfológica

Ficus Carica L. es un árbol frutal de la familia de las Moráceas, de tronco grueso y madera frágil que al quebrarse exuda látex y se descompone fácilmente, sus hojas son grandes, palmeadas, recubiertas de una capa vellosa áspera con propiedades alergénicas presenta una copa amplia e irregular, en ocasiones redondeada, que está generalmente muy ramificada (Walter-Nievas *et al.*, 2021).

Raíz: La planta de la higuera muestra un sistema radical, siendo este abundante, fibroso y de desarrollo superficial muy extendido, a veces abarcando 15 m del terreno, en suelos permeables sus raíces pueden descender a 6 m, el 80 % se encuentra entre 20 y 45 cm (Fernández, 2016).

Tronco y ramas: El material vegetal maderable es débil y se descompone rápidamente, las ramas pequeñas tienden a ser más ricas en médula que leñosas. Cuando las ramas se cortan o se dañan, producen abundante cantidad de un látex lechoso que puede ser un irritante para la piel. Este látex contiene una enzima

degradante de proteínas llamada ficina, que es similar a la papaína, (Sarkhosh, 2023).

Hojas: Las hojas son de tamaño regularmente grandes y pecioladas y con gran variedad de formas y tamaños. Son normalmente palmatipartidas con tres o cinco lóbulos (trilobuladas o pentalobuladas), aunque en algunas variedades predominan las hojas enteras. Su tamaño oscila entre 10 y 20 cm. Las hojas son coriáceas, generalmente acorazonadas en su base y de márgenes sinuosos y dentados. El haz presenta una coloración verde brillante, con pelos cortos y rígidos que le da un tacto áspero, mientras que el envés es más blanquecino y mate, las hojas se colocan habitualmente de forma alterna (Jiménez, 2016).

Inflorescencia: La planta contiene inflorescencia y estas a su vez forman el fruto aprovechable, posee flores unisexuales, las femeninas tienen cinco pétalos y un solo carpelo de color rosado o blanquecino y se ubica en el fondo del sicono, mientras que las flores masculinas tienen tres sépalos y tres estambres y se ubica en la entrada del sicono, la época de cosecha del higo es en junio- julio, (Pillajo, 2021).

2.5.4. Ciclo de producción

En el cultivo de la higuera los siconos (frutos) aparecen de forma continua, en la temporada de cosecha que es (junio – julio), siempre se encuentran en las axilas de las hojas y normalmente sólo una yema axilar se transforma en higo, mientras la otra puede dar lugar a una rama; en ocasiones, las dos yemas axilares pueden transformarse en frutos (Soberanes *et al.*, 2020).

2.5.5. Requerimientos edafoclimáticos

Garza (2020), menciona que el clima ideal para la higuera es el mediterráneo. Los límites térmicos de esta especie son -12 °C, ocasionando la muerte de la planta, y -6 °C en que mueren los frutos. Las necesidades de horas calor son de 3500 – 4000 °C para la maduración de los higos, mientras que las horas frío necesarias para salir del reposo invernal se encuentran entre las 100 - 300. En cuanto a altitud, la higuera se desarrolla entre el nivel del mar y los 1200 msnm, en cuanto a necesidades

hídricas, la higuera requiere entre 600 -700 mm por año para un desarrollo óptimo. Por otro lado, la planta es considerada de resistencia media a la salinidad, soportando una conductividad del agua de riego de 3.7 dS m⁻¹ y del suelo de hasta 5.5 dS m⁻¹, adaptándose a la mayoría de los suelos, con excepción de los más húmedos, prefiriendo suelos profundos, calcáreos y de pH alrededor de 8 -8.5.

2.5.6. Etapas fenológicas

Una fase fenológica es el período durante el cual aparecen, se modifican o desaparecen los órganos de las plantas. También puede entenderse como el tiempo de una manifestación biológica. La mayoría de estas fases son visibles en casi todas las plantas, existen algunas plantas que poseen ciertas fases invisibles, tal es el caso de la higuera cuya fase de floración es invisible; al no contar con bibliografía específica sobre las etapas fenológicas del higo, se ha adaptado de otras especies según las recomendaciones determinándose 5 fases fenológicas que son: Primera fase: hinchamiento de las yemas, Segunda fase: aparición de las primeras hojas, tercera fase: aparición de frutos (siconos), Cuarta fase: maduración de los primeros frutos, quinta fase: inicio de la caída de hojas, (Soza, 2022).

2.5.7 Producción a nivel mundial

La producción internacional del higo (*Ficus carica L.*) en el año 2022 estuvo representada por 53 países. Sin embargo, cinco países son los principales productores, Turquía ocupa el primer lugar con una producción de 350,000 toneladas (t), seguido de: Egipto, Argelia, Marruecos e Irán (Figura 1) (FAOSTAT, 2022). M

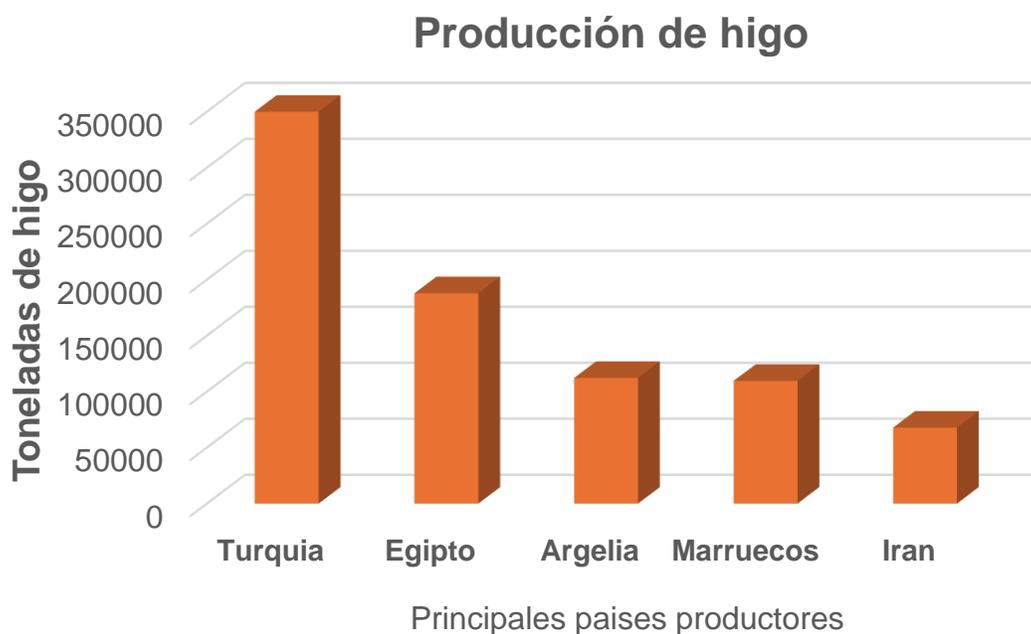


Figura 1. Principales países productores de higo en el 2022 de acuerdo con datos reportados por FAOSTAT (Elaboración propia).

2.5.8 Producción a nivel nacional

En México, el estado de Morelos es el principal productor de higo, cuenta con una superficie de 487.5 hectáreas, las cuales aportando 3,428 t de este fruto. Asimismo, los estados de Veracruz, Michoacán, Baja California Sur y Puebla, contribuyen a la producción de este frutal, la superficie de producción por estos estados es de 1472 hectáreas, cosechando 10,028 t de higo al año (Figura 2) (SIACON, 2022).

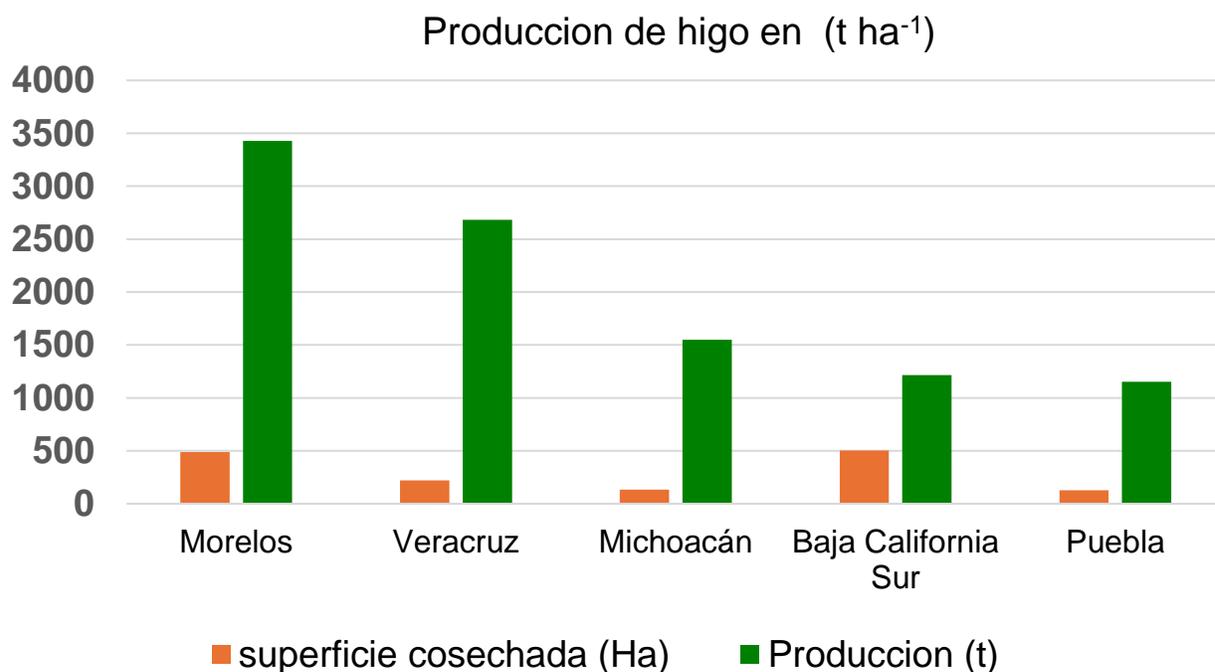


Figura 2. Principales estados productores de higo en México en el 2020 de acuerdo con datos obtenidos de SIACON (Elaboración propia).

2.6. La Agricultura protegida

La agricultura protegida ya es una realidad y cada vez presenta mayor tendencia en la agroindustria mexicana, debido principalmente a que se obtienen grandes incrementos en cuanto al rendimiento de los cultivos, además tiene la gran ventaja de poder producir todo el año, logrando cosechas más saludables y de mayor calidad, incrementando en general el rendimiento por hectárea (Steelway, 2020).

2.6.1. Ventajas de la Agricultura protegida

La agricultura protegida consiste en cultivar plantas en ambientes controlados donde se puede ajustar la temperatura, humedad y niveles de luz de acuerdo con las necesidades específicas de cada cultivo. Esto permite aumentar la producción y obtener plantas más saludables. Este tipo de agricultura puede emplear diversas estructuras, como túneles de plástico, mallas anti-insectos, invernaderos de polietileno con ventilación, camas elevadas y sistemas de riego por goteo. Estas técnicas pueden aplicarse por separado o combinadas, proporcionando un entorno

adecuado que protege a las plantas de condiciones climáticas adversas, extiende la temporada de cultivo y facilita la producción fuera de temporada. Además, el uso de riego por goteo junto con mantillo y camas elevadas ayuda a conservar la humedad del suelo y a controlar las malas hierbas (Banjare *et al.*, 2024).

2.6.2. Desventajas de la agricultura protegida

La agricultura protegida presenta diversas desventajas, especialmente en los países en desarrollo, tales como los elevados costos iniciales, el acceso restringido a tecnología y la escasez de mano de obra capacitada. Estos desafíos dificultan la implementación masiva de métodos agrícolas protegidos de baja tecnología, lo que afecta tanto la productividad como la sostenibilidad en general (Zakaria *et al.*, 2022).

2.6.3 Producción de higo bajo agricultura protegida

En los últimos años diversos países de Latinoamérica han aportado con innovación y tecnología para potenciar los cultivos, crear nuevas variedades de sus principales frutas, y aportar con esto al crecimiento del PIB de cada país (AMHPAC, 2021).

La mayor parte de la producción de higo se realiza en campos abiertos mediante sistemas extensivos, con una densidad de plantación inferior a 1,300 plantas por hectárea. Sin embargo, gracias a la adopción de tecnologías utilizadas en otros cultivos, como las estructuras de protección (macro-túneles, malla sombra), sistemas de fertirrigación y prácticas de manejo, se ha logrado aumentar las densidades, alcanzando casi 4,000 plantas por hectárea. Algunos investigadores han propuesto un sistema intensivo bajo invernadero para el cultivo de higo, que incluye densidades superiores a las 12,000 plantas por hectárea, riego localizado en macetas con sustrato de tezontle, uso de soluciones nutritivas y un sistema de conducción con rafia, lo que requiere una poda intensiva y regular de la planta. Este sistema intensivo podría permitir rendimientos superiores a 100 toneladas por hectárea (INTAGRI, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El trabajo experimental se realizó el 20 de enero al 15 de noviembre del 2023, dentro de un invernadero ubicado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizado, geográficamente en las coordenadas: latitud 25° 21' 22" N y longitud 101° 02' 09" W, a una altitud de 1758.25 msnm en Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

3.2. Material Vegetal

Como material vegetal se utilizaron árboles de higuera de dos años del cultivar Black Mission. El 20 de enero del 2023, se realizó la poda de fructificación y al mismo tiempo se realizó el retrasplante a contenedores de 30 litros, para ello primeramente se realizó un poda a la raíz, se colocó un árbol por contenedor, como sustrato se utilizó una mezcla peat moss y perlita (70/30 % v/v). La distancia entre macetas fue de 1.20 m y entre hileras fue de 1.50 m.

3.3. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en tres concentraciones de amonio (0, 40 y 80 %) y dos aplicaciones foliares de calcio (0 y 10 g L⁻¹) utilizando el producto comercial KELATEX®, dando así un total de seis tratamientos (Cuadro 1). Las diferentes concentraciones de NH₄⁺ se obtuvieron a partir de modificación al 80 % de la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961), el resto de los macronutrientes se mantuvieron constantes. Para la formulación de las soluciones nutritivas se consideró las propiedades químicas del agua de riego. La cantidad correspondiente de NH₄⁺ en cada tratamiento se aplicó en forma de sulfato de amonio. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó a 6.0 ± 0.1 con H₃PO₄ al 85 %, HNO₃ al 55 % y H₂ SO₄ al 98 %. Los demás nutrientes se aplicaron con los siguientes fertilizantes: nitrato de potasio (KNO₃), nitrato de calcio (Ca (NO₃)₂), sulfato de potasio (K₂SO₄) sulfato de magnesio (MgSO₄), cloruro de calcio (CaCl₂), con respecto a los micronutrientes se aplicaron 0.066 g L⁻¹ de microelementos de la marca comercial Ultrasol micro Rexene®. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron tres aplicaciones de Ca

(Cuadro 2) entre las 8:00 y 10:00 h, asperjando a punto de goteo en el follaje de la higuera.

Cuadro. 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el crecimiento y rendimiento de la higuera cv Black Mission.

| Tratamientos | NH ₄ ⁺ % | Ca g L ⁻¹ |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | 0% | 0 |
| 2 | 0% | 10 |
| 3 | 40% | 0 |
| 4 | 40% | 10 |
| 5 | 80% | 0 |
| 6 | 80% | 10 |

Cuadro 2. Fechas de aspersión del Ca en el follaje de higuera cv. Black Mission

| | |
|--------------------|---------------------------|
| Primera aplicación | 31 de agosto del 2023 |
| Segunda aplicación | 15 de septiembre del 2023 |
| Tercera aplicación | 02 de octubre del 2023 |

3.4. Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial de 3 x 2 con cuatro repeticiones por tratamiento.

3.5 Manejo del cultivo

3.5.1. Riego con soluciones nutritivas

El riego con las soluciones nutritivas se inició a las cinco semanas después del trasplante (28 de marzo del 2023). Los riegos se realizaron diariamente, al inicio solo se realizó un riego al día, aplicando cuatro litros de la solución nutritiva en cada árbol de cada tratamiento, tres semanas después, la frecuencia de riego se incrementó a dos veces al día, aplicando un total de ocho litros diarios.

3.5.2. Tutoreo

Se colocaron tubos de soporte de cada extremo de las hileras de plantación, en los tubos se colocaron líneas de alambre galvanizado de calibre 18 para soporte. Las líneas del mismo fueron puestas cada 35 cm de altura en forma vertical con ayuda de unas pinzas mecánicas marca Truper.

3.5.3. Podas (Deshoje y Deschuponado)

Durante el desarrollo del experimento se realizaron dos podas, tanto de hojas como de chupones. En cada poda se eliminaron las hojas viejas, esto se realizó para evitar foco de infección de plagas y enfermedades. Asimismo, se eliminaron los chupones o hijuelos, para evitar la demanda de nutrientes hacia estos. Como herramienta para poder llevar a cabo esta labor cultura se utilizaron tijeras de la marca Pretul.

3.5.4. Control de plagas y enfermedades

En el tiempo que se llevó a cabo esta investigación, la principal plaga que se presentó fue araña roja (*tetranychus spp.*), esta incidencia es probable que se debió a las altas temperaturas y la baja humedad relativa. El control se realizó haciendo lavados con agua y jabón Vel rosita a una dosis de 1.5 ml L⁻¹ durante cinco días, iniciando el 08 de agosto del 2023, el objetivo de estos lavados fue evitar el nacimiento de larvas. Posteriormente, el día 13 de agosto del 2023, se realizó la aplicación del acaricida abamectina, para eliminar los adultos que a un se

encontraran presentes. No obstante, se continuó haciendo lavados con agua y jabón Vel rosita a la dosis antes mencionada.

Por otra parte, se presentó la enfermedad ocasionada por *Cerotelium fici* (Butler) Arthur, conocida comúnmente como roya de la higuera, para su control se realizaron tres aplicaciones del producto comercial Mancosol 80 (ingrediente activo mancozed), a una dosis de 2.5 gr L⁻¹.

3.6. Variables evaluadas

3.6.1. Altura de la planta (AP)

Ocho meses después de haber iniciado con la aplicación de los tratamientos, se midió la altura de los cuatros tallos de cada árbol de higuera, este dato se tomo a desde el punto de brotación hasta la punta apical utilizando un flexómetro (Truper, Fa-3hd).

3.6.2. Diámetro de tallos (DT)

El DT se midió a los 30 cm de la base del tallo, se realizó la medición en dos tallos de cada árbol, utilizando un vernier digital (Steren, HER-411).

3.6.4. Índice del contenido relativo de clorofila (ICRC)

La evaluación del ICRC se realizó a los cuatros meses, para ello se utilizó el medidor portátil Spad (SPAD 502 Plus Minolta), la lectura se realizó en dos hojas de cada higuera en cada tratamiento.

3.6.5. Peso promedio de fruto (PPF)

La cosecha de los frutos (sinocos) inicio el 13 de julio del 2023 y culmino el 16 de octubre del 2023, en total se realizaron 18 cortes. Cada higo cosechado se peso en una balanza analítica (marca Esnova), posteriormente se realizó los cálculos necesarios para determinar la media aritmética del peso de fruto.

3.6.6. Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)

Para obtener el DE de los siconos, se midió perpendicular al eje peduncular, mientras que para el diámetro polar se midió desde el pedúnculo hasta el ápice del

fruto. Las mediciones se realizaron con ayuda de un vernier digital (Steren, HER-411)

3.6.7. Rendimiento por higuera (Rnto)

En cada corte (cosecha) se registró el peso de los frutos con balanza analítica y mediante una suma aritmética de los diferentes cortes se obtuvo el rendimiento por higuera.

3.6.8. Peso seco de hojas, tallo y aéreo

Los órganos de las higueras, tallo y hojas, se separaron y cada uno se colocó en bolsas de papel estraza, previamente identificadas. Las bolsas se introdujeron a un horno de secado a 65 °C durante 72 horas y/o hasta obtener el peso constante. El Peso seco aéreo se obtuvo mediante una suma aritmética del peso seco de tallos y hojas.

3.6.9. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANVA), bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 2, y una comparación de medias utilizando la prueba Tukey ($\alpha=0.05$), en el programa estadísticos SAS versión 9.0.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las higueras que fueron irrigadas con soluciones nutritivas que contenían amonio presentaron diferencias significativas en altura de planta (AP), peso seco de tallo (PST), peso seco de hoja (PSH) y peso seco aéreo (PSA), mientras que, en el diámetro de tallo no se observó diferencias por las concentraciones de amonio suministradas (Cuadro 3). La aspersión de calcio vía foliar solo influyó significativamente en las variables de peso seco de los órganos de las plantas. La interacción entre amonio y calcio afectó significativamente en la AP y PSH (Cuadro 3).

Conforme se incrementó la concentración de amonio en las soluciones nutritivas se aumentó la AP de las higueras, similar comportamiento se reportó en portainjertos de manzana semi-vigorous (MM106 y MM111), donde la relación de 20:80 (%) de nitrato-amonio, se presentaron tallos más largos (Yavari *et al.*, 2022). Pero, el PST, PSH y PSA se disminuyeron con el incremento del suministro de amonio en las plantas (Cuadro 3), este resultado concuerda con lo señalado por Chen *et al.* (2020) quienes indican que, en plántulas de cítricos se redujeron la biomasa seca en altas concentraciones de amonio. Las higueras que recibieron Ca vía foliar presentaron mayor PST, PSH y PSAe, en comparación con aquellas plantas testigo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de amonio (NH₄⁺) y calcio (Ca) en la altura de planta, diámetros de tallo, peso seco de tallo, peso seco de hoja y peso seco aéreo de la higuera cv. Blanck Mission en cultivo sin suelo.

| NH ₄ ⁺ (%) | Altura de planta (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Peso seco de tallo (g) | Peso seco de hoja (g) | Peso seco aéreo (g) |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 0 | 122.05 b | 14.468 a | 516.75 a | 329.37 a | 846.13 a |
| 40 | 144.57 a | 14.597 a | 503.83 ab | 216.00 c | 719.83 b |
| 80 | 148.37 a | 14.925 a | 458.88 b | 292.50 b | 751.38 b |
| ANVA <i>P</i> ≤ | 0.001 | 0.258 | 0.011 | 0.001 | 0.002 |

| Ca (g L ⁻¹) | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 0 | 137.11 a | 14.604 a | 468.50 b | 256.750 b | 725.5 b |
| 10 | 139.55 a | 14.720 a | 517.81 a | 301.833 a | 819.64 a |
| ANVA <i>P</i> ≤ | 0.3151 | 0.6094 | 0.0034 | <.0001 | 0.0001 |
| Interacción <i>P</i> ≤ | 0.001 | 0.212 | 0.136 | 0.004 | 0.557 |
| CV | 4.173 | 3.735 | 7.047 | 6.625 | 5.934 |

ANVA= análisis de varianza, Interacción= NH₄⁺ x Ca, CV= coeficiente de variación. Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

El índice de contenido relativo de clorofila (ICRC), diámetro polar y ecuatorial de higo (DPH y DEH), peso promedio de higo (PPH) y el rendimiento por planta, fueron afectados significativamente por el suministro de amonio en las soluciones nutritivas (Cuadro 4). La aspersión foliar de calcio (Ca) presentó diferencias significativas en el DPH, DEH y rendimiento por planta. La interacción de estos dos factores afectaron en la mayoría de estas variables a excepción del ICRC (Cuadro 4).

El mayor ICRC y DPH se obtuvieron en las higueras al ser nutridas con el 80 % de nitrógeno en forma de NH₄⁺, mientras que, el DEH, PPH y rendimiento por planta se incrementaron con el 40 % de NH₄⁺ en las soluciones nutritivas, superior a esta concentración de amonio estas variables se redujeron (Cuadro 4). Asimismo, la aplicación de Ca vía foliar promovió mayor DPH, DEH y rendimiento por planta en relación al testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de amonio (NH₄⁺) y calcio (Ca) en el índice de contenido relativo de clorofila (ICRC), diámetro polar y ecuatorial de higo (DPH y DEH), peso promedio del higo (PPH) y rendimiento por planta de higo cv. Blanck Mission en cultivo sin suelo.

| NH ₄ ⁺ (%) | ICRC (SPAD) | DPH (mm) | DEH (mm) | PPH (g higo ⁻¹) | Rendimiento (g planta ⁻¹) |
|-------------------------------------|----------------|-------------|-------------|--------------------------------|--|
| 0 | 52.73 b | 43.57 b | 39.150 a | 31.163 ab | 1239.85 b |
| 40 | 55.51 b | 44.53 b | 40.08 a | 31.388 a | 1356.74 a |
| 80 | 58.98 a | 48.42 a | 35.61 b | 28.488 b | 1120.75 c |
| ANVA P≤ | 0.001 | 0.006 | 0.003 | 0.026 | 0.001 |
| Ca (g L ⁻¹) | | | | | |
| 0 | 56.142 a | 43.273 b | 40.283 a | 30.933 a | 1193.53 b |
| 10 | 55.346 a | 47.750 a | 36.283 b | 29.758 a | 1284.69 a |
| ANVA P≤ | 0.467 | 0.001 | 0.001 | 0.193 | 0.011 |
| Interacción P≤ | 0.304 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| CV | 4.684412 | 5.849765 | 4.617343 | 6.95386 | 6.258506 |

ANVA= análisis de varianza, Interacción= NH₄⁺ x Ca, CV= coeficiente de variación.

Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05

4.2.1 Altura de plantas (AP)

La mayor altura de las higueras se alcanzó al aplicar un 40% de nitrógeno (N) en forma de amonio (NH₄⁺) sin aspersión de calcio (Ca), este efecto fue similar con el 80 % de NH₄⁺ y la aplicación foliar de Ca igual a 10 g L⁻¹. Las plantas que no recibieron amonio ni calcio fueron las que registraron menor tamaño (Figura 3). Estos resultados son similares con Urić *et al.* (2017), quienes indicaron, que el suministro de amonio como parte del N total puede estimular el crecimiento de las plantas, en particular cuando se maneja en proporciones adecuadas. Sin embargo, esto difieren con lo reportado por Xiao *et al.* (2023), quienes observaron que el NH₄⁺ por sí solo tiende a inhibir el crecimiento en la mayoría de los cultivos. En este estudio, el amonio solo representó el 40% del nitrógeno total aplicado, lo que parece

haber sido un umbral óptimo para estimular el crecimiento sin causar toxicidad, Asimismo Bonomelli *et al.* (2021) reportaron que, el uso excesivo de NH_4^+ como fuente principal de nitrógeno puede ser perjudicial para el desarrollo en los cultivos lo que coincide con los resultados en las plantas que recibieron el 80% de (N) en forma de amonio, en conjunto con las que no absorbieron NH_4^+ ni Ca, registraron el menor tamaño. Estos resultados respaldan la idea de que una proporción moderada de NH_4^+ puede beneficiar el crecimiento, mientras que niveles elevados podrían tener efectos adversos.

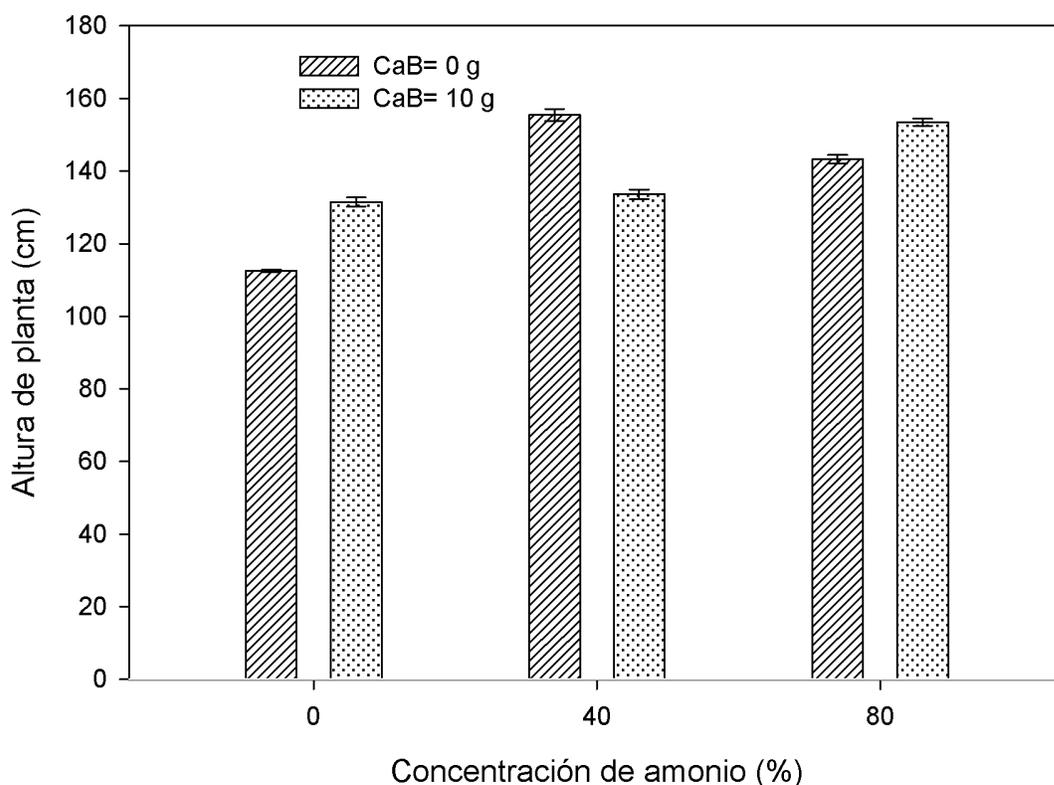


Figura 3. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en la altura de la higuera cv. Black Mission.

4.2.2 Peso seco de hoja

El mayor peso seco de hoja se obtuvo al ser fertilizadas con el 0 % de amonio sin o con las aspersiones de calcio, pero en las plantas que recibieron 40 % de amonio

y 0 % calcio registraron el menor peso seco de hoja (Figura 4). Por su parte Lara-Izaguirre *et. al.*, (2019) indican que, al aumentar la proporción de NH_4^+ en la solución se disminuye el PSH en lechugas. Asimismo, Leskovar *et. al.*, (2019) reporta que, el uso exclusivo de amonio puede reducir el peso seco de las hojas de olivo ('Arbequina') comparado con nitrato o una combinación de ambas fuentes. Esto sugiere que el riego con amonio al 40 %, probablemente fue la causa de la menor cantidad de peso seco en las hojas de las higueras. Xing *et al.* (2015) indica que, una mayor concentración de amonio en comparación con nitrato, disminuyó el contenido de clorofila y redujo la tasa fotosintética en el cultivo de espinaca, lo que podría estar asociado a una menor producción de materia seca.

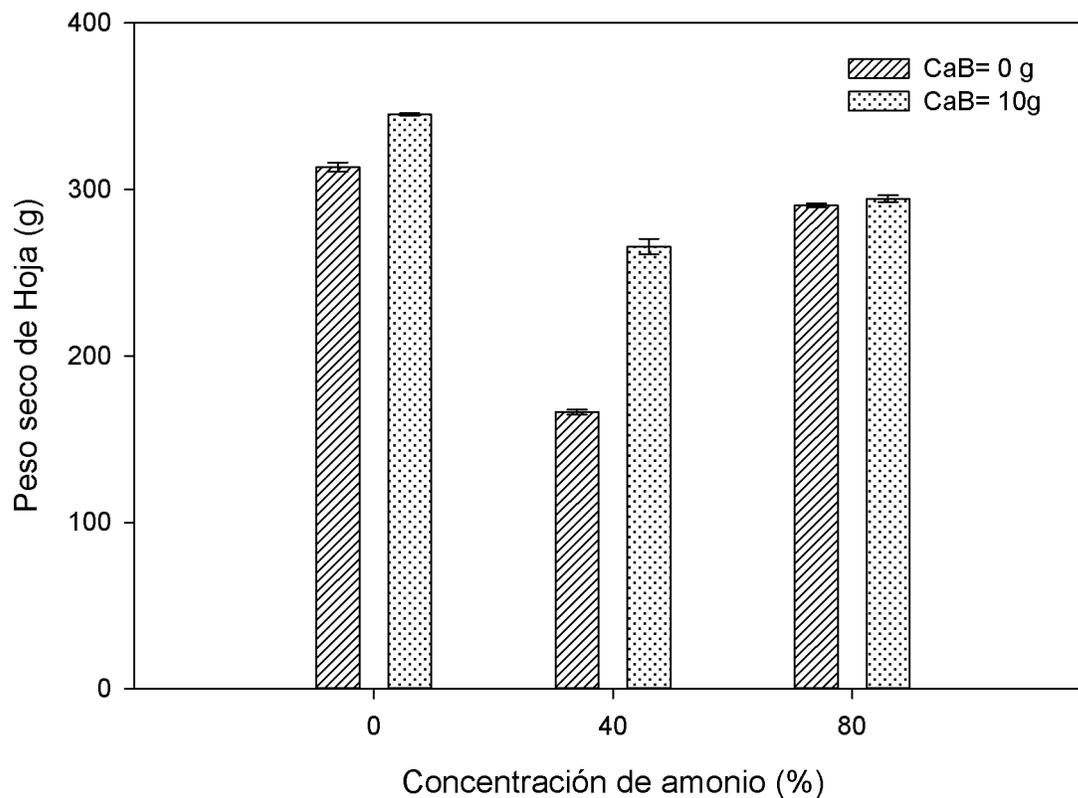


Figura 4. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el peso seco de hoja de la higuera cv. Black Misión.

4.2.3 Diámetro polar del higo

Las plantas irrigadas con el 40% de amonio presentaron mayor diámetro polar del higo al ser asperjadas con 10 g L⁻¹ de calcio (Figura 5). Por su parte, Abdel et al. (2023) mencionan que, el aumento en el peso, volumen, longitud y diámetro del fruto de granada del cultivar 'Wonderful' fue promovido por la aplicación conjunta de entre nitrato de calcio y sulfato de amonio a una proporción del 30% de (Ca(NO₃)₂) y 70% de (NH₄)₂SO₄. Por otro lado, Souri *et al.* (2017) menciona que, la aplicación de amonio en forma foliar resultó en un aumento significativo tanto en el diámetro como en la longitud de los frutos de tomate, en base a esto el uso de amonio tanto en fertirriego, como asperjado, en usos moderados puede incrementar tamaños y diámetros polares en higos sin causar efectos negativos. Tzortzakis *et al.*, (2022) señalan que, los mayores niveles de NH₄⁺ no afecta en gran medida el crecimiento y rendimiento de los frutos de tomates.

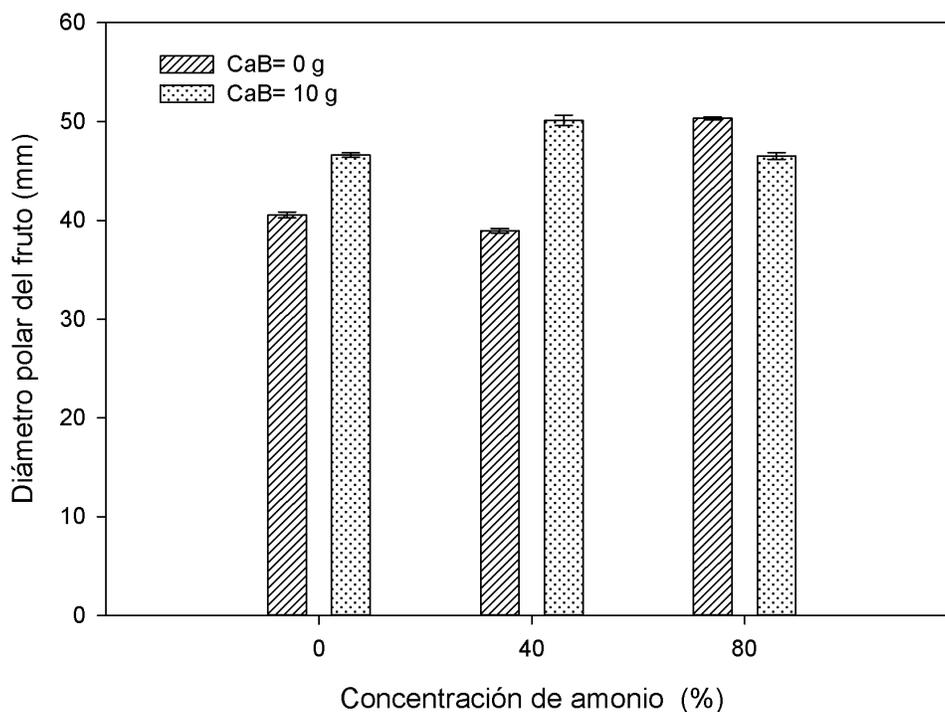


Figura 5. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el diámetro polar del fruto de la higuera cv. Black Mission.

4.2.4 Diámetro ecuatorial del fruto

El mayor diámetro ecuatorial de fruto se obtuvo en las plantas que se irrigan con 40% de amonio sin la aplicación foliar de calcio. Por otro lado, las plantas fertilizadas con un 80% de amonio presentaron un menor diámetro ecuatorial, independientemente de la aplicación de calcio foliar (Figura 6). Zhang *et al.* (2019) indican que, en pimiento (*Capsicum annuum L.*) con la proporción de 25% de NH_4^+ y 75% de NO_3^- sugieren que, esta concentración es la más adecuada para favorecer la calidad y tamaño de los frutos, esta concentración es muy inferior a lo obtenido en esta investigación. Por otra parte Mohammad *et al.*, (2015) mencionan que, en frutos de manzana (*Malus domestica Borkh. cvs. Gala y Golab*) fertilizadas con diferentes proporciones de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (2,5:0,1, 6:1, 6:0,7, 6:0,5, 6:0,3 meq L^{-1}) la longitud y el diámetro del fruto no se vieron afectados por el aumento de amonio. De acuerdo con Barker--Mill (1980); Lips *et al.* (1990); Mohammad *et al.* (2015) reportan que, las plantas pueden utilizar tanto NH_4^+ o NO_3^- como fuente de nitrógeno, dependiendo de la especie vegetal, esto sugiere que la fertirrigación a una concentración del 40 % de amonio posiblemente puede ser ideal para obtener mayor tamaño en los frutos de higuera.

4.2.5 Peso promedio de fruto

En las plantas que no recibieron amonio pero, con la aplicación de 10 g L^{-1} de calcio se presentó mayor peso promedio del fruto, este efecto fue similar al suministrar 40 % de amonio sin la aspersión de calcio. Por otra parte, al elevar la concentración de amonio (40 % y 80 %) disminuye el peso de fruto, principalmente con las aspersiones de calcio (Figura 7).

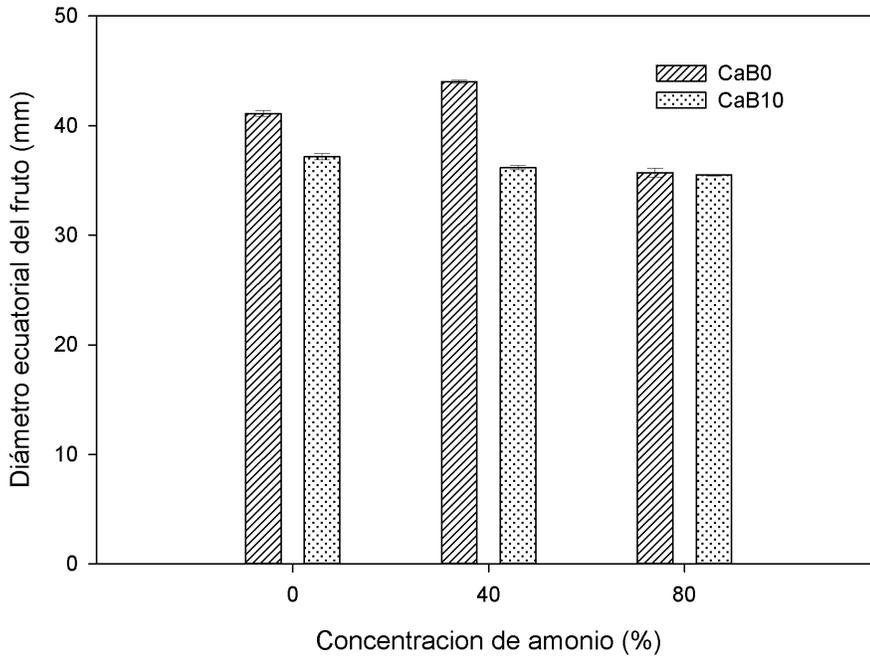


Figura 6. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el diámetro ecuatorial del fruto de la higuera cv. Black Mission.

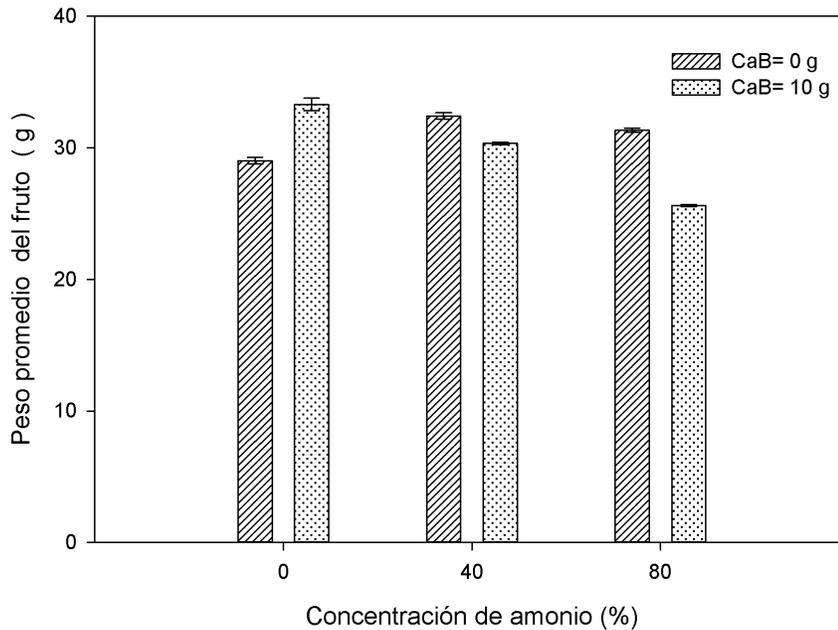


Figura 7. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el peso promedio del fruto de la higuera cv. Black Mission.

4.2.6 Rendimiento de fruto

Las higueras que recibieron una concentración de 40 % de amonio se obtuvo mayor rendimiento de higo por planta en combinación con la aspersion de 10 g L⁻¹ de calcio, pero, en las higueras que fueron fertilizadas con el 80 % de amonio y 10 g L⁻¹ de Ca registraron el menor rendimiento de higo (Figura 8). Esto sugiere que el exceso de amonio más el calcio provocan toxicidad en las higueras por lo que se redujo el rendimiento por planta. Por su parte, Silva-Campos *et al.* (2020) señala que, la toxicidad de amonio es un problema para la mayoría de las plantas cultivables en todo el mundo debido a que reduce los rendimientos. Asimismo, la toxicidad del amonio está relacionada por bajo niveles de clorofila a y b y carotenoides, conduciendo a una disminución en las tasas fotosintéticas y un aumento en la producción de etileno (Coskun *et al.*, 2013; Barreto *et al.*, 2016; Shilpha *et al.*, 2023). El principal síntoma toxicidad está asociado con retraso del crecimiento, por un alto costo de energía para mantener la homeostasis de iones, pH y hormonas (Shilpha *et al.*, 2023). La absorción de amonio por las raíces da como resultado un eflujo neto de protones (H⁺) a la célula para mantener el potencial de membrana, y su asimilación en glutamina genera H⁺, acidificando así la rizosfera y el entorno celular (Raven y Smith 1976, Feng *et al.*, 2020; Hachiya *et al.*, 2021; Rivero-Marcos *et al.*, 2024). Por otra parte, una concentración adecuada de amonio (40 %) incrementó los rendimientos. Según Shilpha-Song *et al.* (2023) mencionan que, la nutrición con amonio se puede aumentar la productividad, la calidad y la resistencia a diversos tipos de estrés biótico y abiótico de los cultivos. Asimismo, Yang *et al.* (2023) indican que, la aplicación de 20 g de sulfato de amonio en plantas de mora 'Shuofeng' durante la brotación temprana, la floración y el envero del fruto favoreció un crecimiento vigoroso, así como un aumento en el rendimiento y la calidad del fruto.

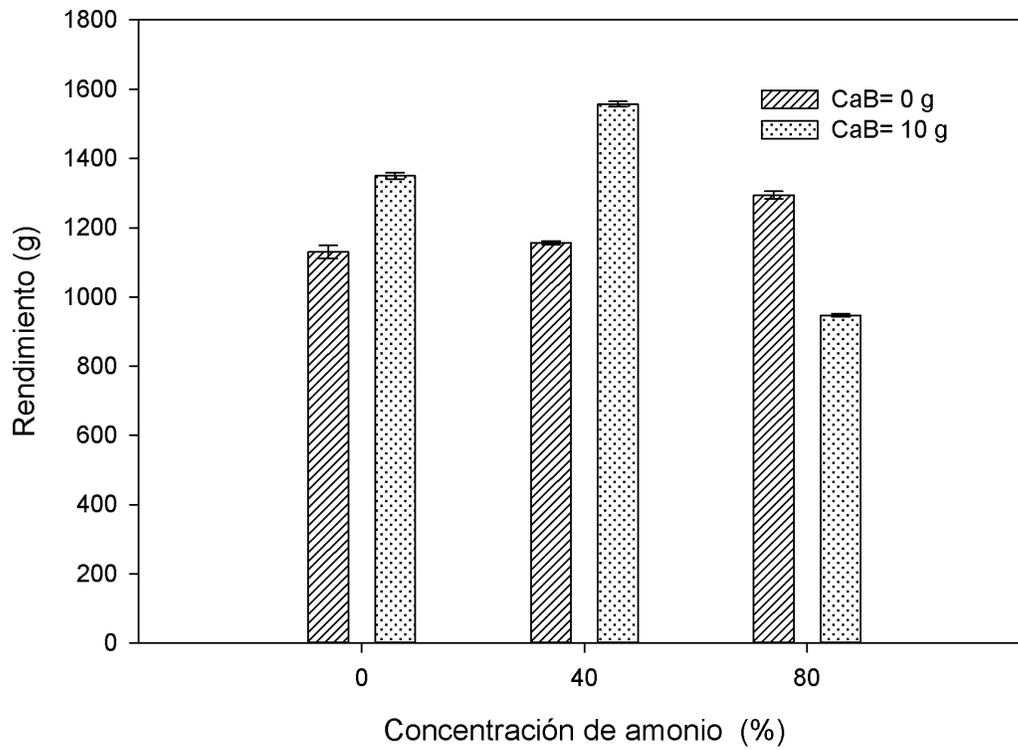


Figura 8. Efecto de la interacción entre la concentración de amonio y la aplicación foliar de calcio en el rendimiento del fruto de la higuera cv. Black Mission.

V CONCLUSIÓN

Al suministrar una concentración de amonio igual a 40 % favorece el crecimiento y rendimiento de las higueras, pero con el 80 % de amonio disminuyen. Con 40 % de amonio y la aplicación de 10 g L^{-1} de calcio promovieron mayor rendimiento.

Lo anterior sugiere que la higuera es ligeramente tolerante al amonio, pero es necesario realizar estudios adicionales para comprender mejor la respuesta de esta especie planta a esta fuente de nitrógeno.

VI LITERATURA CITADA

Abdalla, Z. F., Bayoumi, Y., El-Bassiony, A. E. M., Shedeed, S., Shalaby, T., Elmahrouk, M., and El-Ramady, H. R. (2022). Protected farming in the era of climate-smart agriculture: A photographic overview. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6 (2022) :237–259.

Abdel-Sattar, M., Al-Obeed, R. S., Aboukarima, A. M., Górník, K., and Eshra, D. H. (2023). Improvement of the physico-chemical properties, nutritional, and antioxidant compounds of pomegranate fruit cv.'Wonderful'using integrated fertilization. *Horticulturae*, 9(2): 195.

AMHPAC. (2021). Celebración Día de las Américas: Radiografía a la industria hortofrutícola. Recuperado el 04 junio del 2023 de: <https://amhpac.org/es/index.php/en/17-noticias/674-celebracion-dia-de-las-americas-radiografia-a-la-industria-hortofruticola>

Banjare, C., Mahanta, D., Sahu, P., and Choudhary, R. (2024). A comprehensive review on protected cultivation: Importance, scope, and status. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(7): 46–55.

Bihari, C., Ahamad, S., Kumar, M., Kumar, A., Kamboj, A. D., Singh, S., and Gautam, P. (2023). Innovative soilless culture techniques for horticultural crops: A comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10): 4071–4084.

Bittsánszky, A., Pilinszky, K., Gyulai, G., and Komives, T. (2015). Overcoming ammonium toxicity. *Plant Science*, 231 :184–190.

Bonomelli, C., de Freitas, S. T., Aguilera, C., Palma, C., Garay, R., Dides, M., and O'Brien, J. A. (2021). Ammonium excess leads to Ca restrictions, morphological changes, and nutritional imbalances in tomato plants, which can be monitored by the N/Ca ratio. *Agronomy*, 11(7):1437.

Cajo Curay, A. M. (2016). Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas. Obtenido de tesis de licenciatura.

Campos, C. N. S., Silva Júnior, G. B. D., Prado, R. D. M., David, C. H. O. D., Souza Junior, J. P. D., and Teodoro, P. E. (2020). Silicon mitigates ammonium toxicity in plants. *Agronomy Journal*, 112(2) : 635-647.

Cedillo, M. H. (2021). CÁLCULO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y PREPARACIÓN DE FERTILIZANTES. CDMX: UNAM. Obtenido de <https://planificacionfesaragon.com/sites/default/files/manuales/Calculo%20de%20soluciones%20nutritivas%20y%20preparacion%20de%20fertilizantes.pdf>

Cervantes Zúñiga, M. M., y Hernández Pérez, A. (2020). Aplicación de ácidos húmicos en plantas de pepino desarrolladas bajo diferentes concentraciones de amonio. Obtenido de tesis de maestría en ciencias en horticultura.

Chen, J., Li, J., Li, W., Li, P., Zhu, R., Zhong, Y., Zhang, W., and Li, T. (2024). The optimal ammonia-nitrate ratio for various crops: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 307: 109240.

CODEX. (2006). Comisión del Codex Alimentarius. FAO. Recuperado el 30 de mayo de 2024, de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

FAOSTAT. (2022). Producción internacional de higo. Recuperado el 29 de mayo de 2024, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Fernández, J. (2016). Caracterización química y morfológica de ocho ecotipos de higo (*Ficus carica L.*). Tesis de licenciatura Universidad Autónoma del Estado de México.

Garza Alonso, C. A. (2020). Deficiencias de macronutrientes en higuera (*Ficus carica L.*) bajo condiciones de invernadero. Tesis de doctorado en la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Gillespie, D. P., Kubota, C., and Miller, S. A. (2020). Effects of low pH of hydroponic nutrient solution on plant growth, nutrient uptake, and root rot disease incidence of basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8):1251–1258.

Guo, J., Dong, L., Kandel, S. L., Jiao, Y., Shi, L., Yang, Y., and Mou, B. (2022). Transcriptomic and metabolomic analysis provides insights into the fruit quality and yield improvement in tomato under soilless substrate-based cultivation. *Agronomy*, 12(4):923.

HANNA. (2016). Obtenga mejor rendimiento con manejo apropiado de pH y CE en sistemas hidropónicos. Instrumentos HANNA Colombia .Recuperado el 12 de mayo. <https://www.hann.com/blog/publicación/730/obtener-me-rendimiento-con-manejo-aprop-ph-y-ce-es-s-hidroponicos>

Hernández-Gómez, E., Valdez-Aguilar, L. A., Cartmill, D. L., Cartmill, A. D., and Alia-Tajacal, I. (2014). Supplementary calcium ameliorates ammonium toxicity by improving water status in agriculturally important species. *AoB Plants*, 7, plv105. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv105>

INTAGRI. (2020). Producción de higo en México Recuperado el 09 de noviembre de 2024, de <https://www.intagri.com/articulos/frutales/produccion-de-higo-en-mexico>

Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. G., y Fischer, G. (2024). Efecto del calcio sobre la calidad de la fruta: Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 42(1), e112026. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v42n1.112026>

Jiménez, C. P. (2016). Comportamiento agronómico y estudio del punto óptimo de maduración nutricional y funcional de variedades de higuera interesantes para consumo en fresco. Tesis de doctorado de la Universidad de Extremadura.

Kumar, T. V., and Verma, R. (2024). A comprehensive review on soilless cultivation for sustainable agriculture. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(6): 193–207.

Kumari, R., Bhatnagar, S., and Kalra, C. (2022). Nitrogen assimilation in plants. In *Advances in plant nitrogen metabolism* (pp. 38–54). CRC Press.

Lara-Izaguirre, A. Y., Rojas-Velázquez, A. N., Romero-Méndez, M. J., Ramírez-Tobías, H. M., Cruz-Crespo, E., Alcalá-Jáuregui, J. A., and Loredó-Ostí, C. (2019). Growth and NO_3^- -accumulation in hydroponic lettuce with nitrate/ammonium ratios in two cultivation seasons. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(1): 21-29.

Leskovar, D., and Othman, Y. A. (2019). Nitrogen management for improving root and shoot components of young 'Arbequina' olives. *HortScience*, 54(1):175-180.

Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Abarca-Cervantes, A. D., and Almaguer Vargas, G. (2020). Cambios celulares en hojas de aguacate con deficiencias de calcio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1):13–23.

Mohammad Sokri, S., Babalar, M., Barker, A. V., Lesani, H., and Asgari, M. A. (2015). Fruit quality and nitrogen, potassium, and calcium content of apple as influenced by nitrate: ammonium ratios in tree nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 38(10): 1619-1627.

Nievas, W. E., Villarreal, P., Rodríguez, A. B., y Gomez, G. (2021). El cultivo de la higuera (*Ficus carica*): Aspectos ambientales y económicos para el Alto Valle del río Negro. Ediciones INTA.

Oliveira, F. A., Freitas, R. S., Oliveira, M. K., Santos, S. T., Costa, J. P., Morais Neta, H. M., and Cordeiro, C. J. X. (2022). Electrical conductivity of the nutrient solution for soilless cultivation of kohlrabi. *Horticultura Brasileira*, 40: 129–135.

Pillajo De La Torre, A. E. (2021). Caracterización morfológica in situ del higo (*Ficus carica* L.) en el cantón Antonio Ante. Tesis de licenciatura Universidad Técnica del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11598>

Rivera-Espejel, E. A., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., Trejo-López, C., y Gasga-Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio

en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(1): 57–70.

Rivero-Marcos, M., Lasa, B., Neves, T., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., García-Olaverri, C., and Ariz, I. (2024). Plant ammonium sensitivity is associated with external pH adaptation, repertoire of nitrogen transporters, and nitrogen requirement. *Journal of Experimental Botany*, 75(11): 3557-3578.

Robles, M. V. J. (2020). Efecto de calcio y tres distanciamientos en el cultivo de ají (*Capsicum baccatum*), Cantón El Triunfo, Guayas. Tesis de doctorado, Universidad Agraria del Ecuador.

Sarkhosh, A. (2023). HISTORIA DEL CULTIVO DE HIGO. askifas. Obtenido de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/MG459>

Shilpha, J., Song, J., and Jeong, B. R. (2023). Ammonium phytotoxicity and tolerance: An insight into ammonium nutrition to improve crop productivity. *Agronomy*, 13(6):1487. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061487>

Shrivastava, V., Sigurnjak, I., Edayilam, N., and Meers, E. (2023). Ammonia water as a biobased fertilizer: Evaluating agronomic and environmental performance for *Lactuca sativa* compared to synthetic fertilizers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 54,:102907.

SIACON. (2022). Produccion nacional de Higo. Recuperado el 29 de mayo de 2024, de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

SIAP. (2020). Higo, fruto de gran historia presente en nuestra canasta de dulces tradicionales. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/higo-fruto-de-gran-historia-presente-en-nuestra-canasta-de-dulces-tradicionales>

Soberanes-Pérez, A., Calderón-Zavala, G., López-Jiménez, A., and Alvarado-Raya, H. E. (2020). Bioregulators for fig production under greenhouse conditions. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1): 61–69.

Song, J., Yang, J., and Jeong, B. R. (2022). Decreased solution pH and increased K⁺ uptake are related to ammonium tolerance in hydroponically cultured plants. *Horticulturae*, 8(3): 228.

Souri, M. K., and Dehnavard, S. (2017). Characterization of tomato growth and fruit quality under foliar ammonium sprays. *Open Agriculture*, 2(1) 531-536.

Soza García, I. (2022). Crecimiento y desarrollo de vitroplantas de higo (*Ficus carica L.*) bajo invernadero.

Steelway. (2022). El crecimiento de la agricultura protegida en México. Recuperado de <https://www.steelway.mx/post/el-crecimiento-de-la-agricultura-protegida-en-m%C3%A9xico>

Thor, K. (2019). Calcium: Nutrient and messenger. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440>

Tzortzakis, N., Pitsikoulaki, G., Stamatakis, A., and Chrysargyris, A. (2022). Ammonium to total nitrogen ratio interactive effects with salinity application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology, and fruit storage in a closed hydroponic system. *Agronomy*, 12(2): 386.

Urlić, B., Jukić Špika, M., Becker, C., Kläring, H. P., Krumbein, A., Goreta Ban, S., and Schwarz, D. (2017). Effect of NO₃ and NH₄ concentrations in nutrient solution on yield and nitrate concentration in seasonally grown leaf lettuce. *Acta agriculturae scandinavica, section b—soil & plant Science*, 67(8): 748-757.

Xiao, C., Fang, Y., Wang, S., and He, K. (2023). The alleviation of ammonium toxicity in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 65(6):1362–1368.

Xing, S., Wang, J., Zhou, Y., Bloszies, S. A., Tu, C., and Hu, S. (2015). Effects of NH₄⁺-N/NO₃⁻-N ratios on photosynthetic characteristics, dry matter yield and nitrate concentration of spinach. *Experimental Agriculture*, 51(1): 151-160.

Yadav, M. (2024). Nitrogen uptake in wheat: A comprehensive study. *International Journal of Research in Agronomy*.
<https://doi.org/10.33545/2618060x.2024.v7.i4b.535>

Yang, Y., Huang, Z., Wu, Y., Wu, W., Lyu, L., and Li, W. (2023). Effects of nitrogen application level on the physiological characteristics, yield and fruit quality of blackberry. *Scientia Horticulturae*, 313, 111915.

Yavari, A., Habibi, F., Naseri, L., Rasouli-Sadaghiani, M., Sarkhosh, A., and Pessarakli, M. (2023). Responses of semi-vigorous apple rootstocks (MM106 and MM111) to different nitrate and ammonium ratios under soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 46(3): 439–452.

Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., and Gan, Y. (2019). Appropriate ammonium-nitrate ratio improves nutrient accumulation and fruit quality in pepper (*Capsicum annuum L.*). *Agronomy*, 9(11): 683.