

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Concentraciones de Calcio y Fósforo en la Producción de Plántulas de Chile Chilaca
(*Capsicum annum. var. tequisquiapan*)

Por:

ANA JIMENA VARGAS GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Concentraciones de Calcio y Fósforo en la Producción de Plántulas de Chile Chilaca
(*Capsicum annuum*. var. tequisquiapan)

Por:

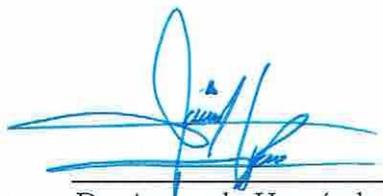
ANA JIMENA VARGAS GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



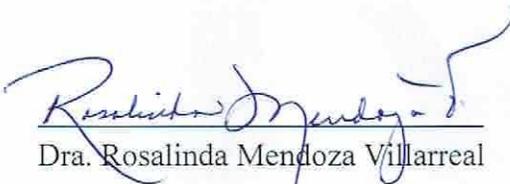
Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal



M.C. Belén Guadalupe Muñoz Rocha

Coasesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2024

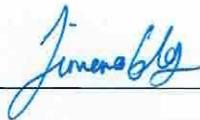
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien 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 usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, 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 las autoridades correspondientes.

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

Pasante



Ana Jimena Vargas González

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de haberme formado en esta casa de estudios, al ser parte de ella logre cumplir una meta más en mi vida, además de superarme de manera profesional y personalmente. Egresando muy orgullosamente como Ingeniera de la narro, agradezco por ser mi segunda casa, llevando conmigo muchos recuerdos, grandes experiencias y aprendizajes.

Al Dr. Armando Hernández Pérez

Por brindarme su apoyo con la mejor disposición y el conocimiento para esta investigación, por su tiempo y enseñanzas, impulsando así la pasión por la agronomía.

A mis Coasesores

Quienes con su conocimiento me ayudaron a lograr mi objetivo con éxito, por su aportación, sugerencia y atención prestada.

Al departamento de Horticultura y mis maestros

Quienes formaron parte de mi preparación académica, por compartir sus conocimientos que me ayudaran en el campo laboral, el apoyo brindado y las enseñanzas.

A mis amigos

Rebe, Lety Lemus, Dani, Yuli Gera, Isma, Jaen y Armando. A ustedes que influyeron en esta etapa de mi vida, dejando en mí, bonitos recuerdos. Agradezco por su amistad, el apoyo que me brindaron durante y fuera de la universidad. Les deseo éxito siempre.

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme sonreír ante este logro de haber terminado mi carrera universitaria, dándome la fuerza y sabiduría para alcanzar mis sueños. Por estar presente en cada momento de mi vida, aprendiendo de cada tropiezo y guiándome buscando lo mejor para mí.

Gracias señor, a ti de debo todo lo que soy.

A mis padres

Sr. J. Refugio Vargas Martínez y Sra. Rita González González

A ustedes que a lo largo de mi vida me han brindado su amor, su cariño al cuidar de mí y por el esfuerzo que hacen día a día, anhelando siempre mi preparación para enfrentarme a la vida y convertirme en una persona de provecho. Por compartir tristezas, alegrías, éxitos y fracasos, por confiar en mí y hacer de mi lo que soy siempre estarán en mi corazón.

Me siento muy contenta por este logro en mi vida que también es suyo, les agradeceré siempre. Por eso y más, gracias papis los amo mucho.

A mis Hermanos

Ma. Berenice Vargas González y Refugio Vargas González

A ustedes hermanos por ser mis amigos para toda la vida, cuidar uno del otro creciendo juntos y su apoyo incondicional. Por compartir los recuerdos de la infancia y los sueños de grandes, sé que lograremos lo soñado y lo que queremos ser.

Gracias por su amor y la alegría que me dan, los quiero siempre.

A mis Abuelitos paternos

Sr. José Refugio Vargas Rojas y Sra. Antonia Martínez García

Por su amor, los consejos, la sabiduría que me han brindado y los ánimos para continuar siendo una persona de bien. Agradezco su bendición que me dieron cada que regresaba a la universidad y por darme a un papa tan fuerte y trabajador.

A mis Abuelitos maternos

Sr. Gumesindo González Meléndez y la Sra. Rita González Rodríguez †

Por el cariño y amor que nos dieron, siempre les gusto tener a la familia unida y por los momentos compartidos que ahora son un bonito recuerdo. Les agradezco por darme a una mamá tan buena, fuerte y tierna.

A mis primas y amigas de siempre

Ana, Meli, Lupita y Vero, por crecer juntas y siempre estar cuando lo necesite, por todos los momentos y aventuras que hemos compartido, que a pesar de la distancia sé que podemos contar una a la otra y seguimos juntas a pesar de todo.

Gracias por su amistad y cariño.

A mi grupo de amigas “las prófugas del anexo”

Ana, Ivette, Andrea, Dianita, Shess, doy gracias a la vida por juntarnos y formar una amistad como la que tenemos, por ser cada una como es haciendo especial al grupo, saber escuchar y estar para cuando lo necesito. Por los consejos, los logros, el apoyo, las tantas aventuras que hemos vivido, las risas y lágrimas compartidas.

Simplemente gracias por demostrarme que la amistad es real y salvarme muchas veces, las quiero mucho.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA | II |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | IV |
| ÍNDICE DE CUADROS | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VIII |
| RESUMEN | 1 |
| I. INTRODUCCION | 2 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.3 HIPÓTESIS | 3 |
| II. LITERATURA REVISADA | 4 |
| 2.1 Origen e historia del chile | 4 |
| 2.2 Importancia económica | 4 |
| 2.3 Producción mundial | 5 |
| 2.4 Producción nacional | 5 |
| 2.5 Taxonomía..... | 6 |
| 2.6 Requerimientos Edafoclimáticos | 6 |
| 2.6.1 Suelo | 6 |
| 2.6.2 Clima..... | 6 |
| 2.6.3 Temperatura y Humedad relativa | 7 |
| 2.7 Requerimientos Hídricos..... | 7 |
| 2.8 Riego y Fertirrigación | 7 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.9 | Riego por capilaridad | 8 |
| 2.10 | Producción de plántulas..... | 9 |
| 2.11 | Nutrición en las plantas | 9 |
| 2.12 | El fosforo en la producción de plántulas | 10 |
| 2.13 | El Calcio en la producción de plántulas | 11 |
| 2.14 | Interacción de Calcio y Fósforo | 12 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 13 |
| 3.1 | Localización del experimento | 13 |
| 3.2 | Material vegetal..... | 13 |
| 3.3 | Siembra | 13 |
| 3.4 | Instalación del experimento | 14 |
| 3.5 | Tratamientos..... | 15 |
| 3.6 | Diseño experimental..... | 15 |
| 3.7 | Riego y fertilización..... | 15 |
| 3.8 | Manejo de plagas y enfermedades | 16 |
| 3.9 | Variables evaluadas..... | 16 |
| | Crecimiento..... | 16 |
| | Biomasa seca..... | 17 |
| 3.10 | Análisis estadístico | 17 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 18 |
| | Altura | 20 |
| | Longitud de raíz..... | 21 |
| | Número de hojas | 22 |
| | Diámetro de tallo | 23 |
| | Peso seco raíz..... | 25 |

| | |
|----------------------|----|
| Peso seco tallo..... | 26 |
| Peso seco total..... | 27 |
| V. CONCLUSIONES..... | 28 |
| VI. REFERENCIAS..... | 29 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Taxonomía del chile | 6 |
| Cuadro 2. Descripción de los tratamientos evaluados para la producción de plántula de Chile chilaca. | 15 |
| Cuadro 3. Cantidad de fertilizantes utilizados para la preparación de la solución nutritiva de los diferentes tratamientos. | 16 |
| Cuadro 4. Efecto de Ca y P en las variables morfológicas de las plántulas de chile chilaca. . | 19 |
| Cuadro 5. Efecto de Ca y P en la biomasa seca de las plántulas de chile chilaca. | 19 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Chile chilaca a los 20 después de la siembra. | 14 |
| Figura 2. Instalación del experimento | 14 |
| Figura 3. Efecto de la interacción de Ca y P en la altura de las plántulas de chile chilaca . Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 20 |
| Figura 4. Efecto de la interacción de Ca y P en la longitud de raíz de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 21 |
| Figura 5. Efecto de la interacción de Ca y P en el número de hojas de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 22 |
| Figura 6. Efecto de la interacción de Ca y P en el grosor del diámetro de tallo de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos..... | 23 |
| Figura 7. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco de hojas de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 24 |
| Figura 8. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco de la raíz de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 25 |
| Figura 9. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco del tallo de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 26 |
| Figura 10. Efecto de la interacción de Ca y P en la biomasa seca total de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. | 27 |

RESUMEN

La producción de plántulas en viveros se ajusta a una humedad y fertilización más restringida durante el endurecimiento de las plántulas para fortalecer sus raíces. En esta fase, se redistribuyen los nutrientes, lo que permite añadir ciertos elementos sin alterar mucho la morfología de la planta. El calcio y el fósforo son elementos esenciales en la nutrición vegetal fortaleciendo a la planta en la pared celular y fomentando el desarrollo rápido y el crecimiento de las raíces. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de distintas concentraciones de calcio y fósforo en soluciones nutritivas, para la producción de plántulas de chile chilaca, mediante riego por capilaridad. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, se evaluaron 2 concentraciones de calcio (5 y 7 meq de Ca) cada uno con 3 concentraciones de fósforo (0.8, 1.0 y 1.2 meq de P). Las variables evaluadas fueron: altura, número de hojas, diámetro de tallo, longitud de raíz, pesos secos de los órganos de la planta y el peso de la biomasa total. Los análisis de varianza revelaron que la altura no se ve afectada significativamente por los niveles de Ca y P. Sin embargo, la longitud de raíz, el número de hojas y el volumen de raíz, así como los pesos secos de hojas, tallo y peso total, mostraron diferencias significativas con el suministro de estos nutrientes. Pero en la interacción de los elementos entre Ca y P mostró diferencias significativas en la altura, longitud de raíz, número de hojas, diámetro de tallo, y en los pesos secos de las distintas partes de la planta. Siendo así que estas variables mostraron un efecto positivo en su crecimiento al ser nutridas con 5 meq de Calcio y 0.8 meq de Fósforo, excepto la longitud de raíz ya que esta aumento a una concentración de 5 meq de Ca y 1.0 de P. En cuanto a las concentraciones de 7 meq de Ca y 1.0 meq de P, así como 5 meq de Ca y 0.8 meq de P, dieron resultados similares, con un mayor peso seco de hoja y peso total de las plántulas. Los datos sugieren que las concentraciones menores favorecen un mejor desarrollo de las plántulas, ya que concentraciones más altas reducen el crecimiento.

Palabras clave: plántulas, capilaridad, concentraciones, crecimiento.

I. INTRODUCCION

Uno de los cultivos más antiguos y originarios de México es el chile, se estima que se ha cultivado desde los 7,000 años a.C en las regiones de Tehuacán, Puebla y Ocampo, Tamaulipas. Por la gran diversidad de chiles la especie de *Capsicum annuum* ha sido de las más cultivadas e importantes en el continente americano (Aguirre y Muñoz, 2015) siendo una especie de gran importancia por el valor de su producción. Estos se distinguen por su color, forma y tamaño, el fruto se consume principalmente en fresco, o en seco como lo es el chile pasilla o mirasol, lo que los convierte en una de las principales especies por proporcionar olor y sabor a diferentes platillos (Aguilar, 2012).

El chile chilaca (*capsicum annuum*) o comúnmente conocido como pasilla, tiene un gran impacto en la economía agrícola, ya que representa el 22 % de la producción total de chiles (Segovia y Romero, 2014). A pesar de la demanda comercial de esta hortaliza, su manera de cultivarlo ha sido tradicional, por lo que otro método de hacer más eficiente su producción es implementar estructuras de protección como en invernadero u mallas sombras, así como la aplicación de soluciones nutritivas o sistemas hidropónicos (Cruz *et al.*, 2014; Ayala *et al.*, 2015; Tapia *et al.*, 2016).

La producción de plántulas en vivero normalmente se acondiciona a niveles de humedad más limitado y una fertilización diferenciada en su etapa de endurecimiento, ya que ahí se produce el crecimiento de la raíz. Surge la traslocación de los nutrientes y se provoca una dilución y descenso de la acumulación de nutrientes en los tejidos de la planta, por lo que se pueden añadir cantidades de algunos elementos ya sea aumentando o preservando sus reservas sin alterar significativamente la morfología de la planta, de modo que la planta sea capaz de soportar el estrés de plantación y tenga una buena adaptación (González, 2020).

El calcio es un elemento esencial para ciertas enzimas en las plantas, pero sus funciones más cruciales incluyen el fortalecimiento de las paredes celulares y la regulación de la permeabilidad de las membranas. Es especialmente importante para aumentar el grosor de la pared celular, lo que reduce la evapotranspiración, disminuye el estrés hídrico y mejora la resistencia frente a plagas y enfermedades (Gómez, 2014). Por otro lado, la concentración de fósforo en la solución del suelo es muy importante para la nutrición vegetal, ya que las

raíces de las plantas absorben este elemento directamente de la solución. El movimiento del fósforo hacia las raíces, a través de la difusión para reponer el que ha sido absorbido por las plantas, depende del gradiente de concentración de fósforo en la solución (Múnera, 2014).

De igual manera es muy importante desarrollar sistemas de riego de alta eficiencia, sencillo, económico y de bajo consumo de energía, que permitan aprovechar mejor el agua disponible (Panda *et al.*, 2004). El riego por capilaridad ha permitido lograr una distribución uniforme del agua entre los cultivos, facilitando que las plantas absorban el líquido desde sus raíces, obteniendo así plantas sanas. Además, esta técnica contribuye al ahorro de agua y mantiene un nivel de humedad adecuado para las plantas (Toledo, 2021).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de fósforo y calcio en soluciones nutritivas para la producción de plántulas de chile chilaca, mediante riego por capilaridad.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de las concentraciones de Ca y P en el crecimiento de la planta.
- Determinar que concentraciones de Ca y P permita aumentar la calidad de la planta.

1.3 HIPÓTESIS

Al menos una de las concentraciones de Ca y P incrementara significativamente el crecimiento de la planta.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Origen e historia del chile

Antes de la llegada de los españoles al continente Americano, existen evidencias arqueológicas que el chile era cultivado y usado como alimento desde los 7000 a.C, en las regiones de Tehuacán, Puebla y Ocampo, Tamaulipas. Después de la conquista fue llevado a Europa donde fue aceptado y su uso se distribuyó a diferentes partes del mundo principalmente en el continente Asiático y Africano (Olvera *et al.*, 1992).

El chile era conocido como “ají” termino que los españoles adoptaron en la época colonial, en México se le conoce como (chilli o xilli- del náhuatl) para referirse a todo fruto clasificado por el género *Capsicum annum*, se ha especulado que el chile pudo haber sido el primer cultivo domesticado en Mesoamérica, por lo que la historia del chile está ligada a la historia de México. Esta hortaliza cobro tal importancia que resulto convertirse en uno de los tributos más solicitado por el humano, debido a su pungencia haciéndolo más atractivo, sin embargo, para los mamíferos se desarrolló como una defensa para las plantas (Aguirre y Muñoz, 2015). Hoy en día el chile constituye a un elemento básico en la cocina debido al sabor y olor que aporta a diferentes platillos, los cuales incluyen algún tipo particular de chile o bien, en el caso de los platillos muy complejos, como el mole, que requieren de diferentes tipos de chile.

2.2 Importancia económica

Entre los cultivos hortícolas el chile, tiene gran importancia no solo agronómica o comercial, si no también gastronómica y cultural, no sólo siendo un condimento extraordinario, es también un alimento muy nutritivo. Debido a los diversos géneros de la familia de las Solanáceas, el *Capsicum* tiene gran influencia, dado que se adapta a una gran diversidad de áreas agroecológicas y se le puede encontrar en el mercado todo el año (Hermosillo *et al.*, 2008).

Es el 8° cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 13 mil mdp anualmente, con un volumen de producción promedio de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones (SADER, 2015).

De acuerdo al SIAP (2020) el Chile representa el 20.2 % de la producción nacional, en el 2019 se reportó más de 3 millones de toneladas.

2.3 Producción mundial

Respecto a los países productores de Chile, China es el principal país productor con 16,650,855 ton (46.1 %) seguido por México con 2,818,443 ton (7.8 %) e Indonesia con 2,772,594 ton (7.7 %), representando el 61.5 % de la producción mundial, a su vez Turquía e India tienen importancia productiva. En cuanto a países bajos como Bélgica y Reino Unido con Irlanda del Norte, tienen el mayor rendimiento promedio entre 235- 281 ton ha⁻¹. La producción mundial ronda entre 36,136,996 toneladas (FAO, 2017).

2.4 Producción nacional

México se destaca como uno de los principales productores de Chile verde en el mundo, ocupando entre el segundo y cuarto lugar a nivel mundial, ya que en el 2023 se registró un cierre de 3,237,000 ton. lo que superó la producción del 2021 y 2022. Los primeros estados dedicados a la producción del Chile verde en el país son: Sinaloa (751,839 ton), Chihuahua (701,392 ton) y Zacatecas (480,694 ton), representando el 59.7 % del volumen nacional. Por otro lado, las entidades que también sobresalen a la producción de este cultivo son: San Luis Potosí con 324,870 toneladas; Sonora con 187,591 toneladas, Guanajuato con 145,362 toneladas, Jalisco con 140,253 toneladas y Baja California Sur con 83,121 toneladas de este fruto (SADER, 2024).

En el 2016 se cultivaron 173 mil 147 hectáreas en México, las cuales se produjeron 135,720 ton de Chile seco y 2,601,308 ton de Chile verde. El 92 % de la producción de Chile verde en el país correspondió a los Chiles jalapeño, morrón, poblano, serrano y chilaca (SIAP, 2017).

Conforme a cifras del SIAP (2019), el 15 % de la producción nacional del Chile proviene de la agricultura protegida y el 84.5 % se cultiva a campo abierto.

2.5 Taxonomía

La clasificación taxonómica del chile según Janick (1985).

Cuadro 1. Taxonomía del chile

| | |
|-------------|----------------------|
| Reino | Plantae |
| División | Tracheophyta |
| Subdivisión | Pteropsida |
| Clase | Angiospermae |
| Subclase | Dycotiledoneae |
| Orden | Solanaceae |
| Familia | Solanaceae |
| Género | <i>Capsicum</i> |
| Especie | <i>C. annuum</i> |
| Variedad | <i>tequisquiapan</i> |

2.6 Requerimientos Edafoclimáticos

El manejo racional y el conjunto de los factores climáticos es fundamental para que el funcionamiento del cultivo, ya que están interrelacionados y la acción sobre uno afecta al otro.

2.6.1 Suelo

Los suelos ideales para el cultivo son franco-arenosos, profundos, ricos en nutrientes, con un 3-4 % de materia orgánica y bien drenados. El pH óptimo del suelo es de 6.5 a 7.0, aunque puede tolerar acidez hasta un pH de 5.5 (Nuez, 2001).

2.6.2 Clima

Requiere de climas calurosos, ya que posee cierta tolerancia a sequias, además de que su crecimiento es largo y en esa temporada no hay peligro de heladas, aunque se adapta bien a zonas templadas (Wattsagro, 1999).

2.6.3 Temperatura y Humedad relativa

La temperatura óptima para el cultivo ronda entre los 18° a 32°C, soportando temperaturas mínimas para su desarrollo de 15 °C. En cuanto a la humedad relativa, necesita de entre el 50 % a 70 %. Humedades muy altas favorecen enfermedades aéreas y dificultan la fecundación, mientras que altas temperaturas y baja humedad pueden causar la caída de flores y frutos recién cuajados (Nuez, 2001)

2.7 Requerimientos Hídricos

El manejo del agua debe ser cuidadoso, ya que tanto la escasez como el exceso son perjudiciales para la planta. La sequía puede reducir la calidad del fruto, mientras que el exceso de agua aumenta el riesgo de enfermedades por hongos y bacterias (Luis, 2006). Pero, por otro lado, cada tipo de cultivo de chile tiene diferentes necesidades de agua. Algunos chiles muy picantes no solo toleran la sequía, sino que incluso se benefician de ella.

Se debe prestar especial atención a proporcionar suficiente humedad en los períodos críticos del cultivo: unos días antes del trasplante, tres o cuatro días después del trasplante, y durante las fases de crecimiento, floración y fructificación. Es crucial mantener el suelo a capacidad de campo cuando las plántulas están recién sembradas, ya que un solo día sin humedad puede causarles estrés (Arriaga, 2011).

El riego en charola se realiza con regadera o aspersor, asegurando que la gota sea fina para no exponer la semilla. Se riega hasta la saturación y se deja que escurra el exceso de agua. Las charolas deben estar a al menos 30 cm del suelo para permitir la aireación y evitar que las raíces toquen el piso (Aguirre *et al.*, 2017).

2.8 Riego y Fertirrigación

En los cultivos protegidos de chile, independientemente de la especie, el suministro de agua y la mayoría de los nutrientes se efectúa generalmente a través del riego por goteo, pero este proceso depende del estado fenológico de la planta y de las condiciones del entorno en que crece (Nuez, 2001).

El riego es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se calcula que más del 90 % del peso fresco de una planta es agua, lo que subraya su importancia para la supervivencia y productividad de los cultivos. El propósito del riego regular es mantener en el suelo condiciones de humedad óptimas, facilitando que las raíces absorban agua fácilmente y la transporten hacia la parte aérea de la planta para cumplir con sus necesidades.

La fertirrigación consiste en suministrar los nutrientes necesarios para las plantas a través del riego, proporcionando la cantidad, proporción y forma química adecuadas según la etapa fenológica de la planta, su ritmo de crecimiento y acumulación de materia seca. Esto se hace con el objetivo de alcanzar altos rendimientos de calidad a corto y largo plazo, mientras se mantiene un nivel adecuado de fertilidad en el suelo (Navarro, 2000).

Por otra parte, los análisis de la solución del suelo nos permiten entender la interacción entre los nutrientes aplicados, verificando el pH, la conductividad eléctrica y los elementos minerales de interés; el equilibrio químico adecuado en la solución del suelo puede afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos; el análisis foliar proporciona información sobre la respuesta de la planta a la nutrición y confirma las correcciones necesarias para optimizar la fertirrigación. Además, sirve como un índice de referencia comparativo de la nutrición (Cadahía, 1998).

2.9 Riego por capilaridad

La capilaridad es una propiedad física que permite al agua avanzar y ascender a través de canales diminutos, se debe a las fuerzas de adhesión de un líquido y la cohesión al contacto con un sólido que origina que este ascienda (Adrianzen, 2017). Este fenómeno se observa en las manchas de humedad, donde el agua se mueve de áreas húmedas a secas. La capilaridad permite que el agua del subsuelo ascienda a la superficie, nutriendo las plantas (Noya *et al.*, 2020).

La elevación capilar del agua depende de la textura del suelo en el que se encuentra. En suelos con partículas finas, como las arcillas, el ascenso capilar es mayor. En suelos con partículas grandes, como arena y grava, la elevación capilar es menor (Gonzales, 2012).

Ochoa y Peña (2012) mencionan que, el agua llega al sustrato a través de una mecha de riego, manteniéndolo cerca de su capacidad de campo. Las plantas absorben el agua necesaria y

suficiente del sustrato, y la mecha repone esa cantidad, creando un circuito cerrado que mantiene la humedad óptima para las plántulas.

2.10 Producción de plántulas

La producción de plántulas en charolas de poliestireno es el método más eficiente y recomendado para cultivar chile y jitomate. Para ello, es necesario disponer de un invernadero que controle adecuadamente factores climáticos como la luz, temperatura y humedad. Además, se deben usar sustratos especialmente preparados, que vienen mezclados y desinfectados para su uso inmediato. Se sugiere emplear charolas con 200 cavidades, ya que producen plantas más vigorosas y robustas, y las raíces sufren un mínimo de daño al salir con el cepellón completo. Su objetivo es proporcionar un medio favorable a la semilla para su germinación y desarrollo en la etapa inicial de crecimiento (Contreras, 2013).

Este es un método práctico que facilita la siembra de grandes cantidades de semillas para obtener grandes poblaciones de plantas. Las charolas se lavan con jabón y se desinfectan con una solución de cloro al 6 % (250 ml en 20 litros de agua) o con oxícloruro de cobre (300 g en 100 litros de agua) (Palomo *et al.*, 2003). La germinación de las semillas ocurre a temperaturas óptimas entre 18° y 24°C. Temperaturas por debajo de 11°C reducirán la producción temprana y total (GEZ, 1998).

Por otro lado, SAGARPA (2012) menciona que es recomendable aplicar fertilizantes de 3-4 ocasiones durante el desarrollo de la plántula en invernadero.

2.11 Nutrición en las plantas

Con la nutrición pueden modificarse las características morfológicas y el crecimiento de las plántulas. La mayoría de las soluciones nutritivas recomendadas se han obtenido mezclando los nutrimentos en diferentes proporciones y al azar, y sembrando posteriormente un cultivo; la mezcla de nutrimentos donde el cultivo se desarrolló mejor se recomienda como una solución nutritiva específica para dicho cultivo (Villegas, 2005).

La investigación de las soluciones nutritivas puede ser sistemática, lo cual permite evaluar todas las combinaciones posibles. El funcionamiento normal del organismo vegetal ocurre con una determinada relación de cationes y aniones en la solución nutritiva; el crecimiento de los órganos aéreos de las plantas y el desarrollo del sistema radical dependen del equilibrio fisiológico de la solución nutritiva (Yágodin, 1986).

Según los criterios de Steiner (1984) para soluciones nutritivas, es posible ajustar la proporción de cualquier ion, siempre y cuando se mantengan las relaciones mutuas entre cationes, entre aniones, y la cantidad total de iones. Estas modificaciones deben realizarse dentro de ciertos límites de concentración relativa de los iones involucrados. La interacción entre los iones puede tener un impacto significativo en la absorción, distribución o función de ciertos nutrientes en la planta, lo que podría provocar deficiencias o toxicidades, afectando negativamente su crecimiento.

2.12 El fósforo en la producción de plántulas

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, ningún otro nutriente puede sustituir sus funciones, por lo que es necesario un suministro adecuado de fósforo para que las plantas crezcan y se reproduzcan de manera óptima. Se clasifica como un nutriente primario, lo que explica su frecuente deficiencia en la producción agrícola, ya que los cultivos lo necesitan en cantidades relativamente grandes. La concentración total de fósforo en los cultivos generalmente oscila entre el 0.1 % y el 0.5%. Este elemento desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El fósforo mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y es además vital para la formación de la semilla (Vélez, 2014).

Una vez dentro de la raíz, el fósforo puede permanecer almacenado en esa área o ser transportado a las partes superiores de la planta. Las raíces absorben el fósforo principalmente en forma de ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o como ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). La proporción en que estos aniones son absorbidos por la planta está fuertemente influenciada por el pH del suelo. En suelos con pH básico o alcalino, la disponibilidad de H_2PO_4^- puede disminuir

debido a la precipitación de sales de fósforo que reaccionan con cationes como el calcio (Ca^{2+}) o el magnesio (Mg^{2+}), formando fosfatos poco solubles. En contraste, en suelos con pH ácido, el HPO_4^{2-} puede formar compuestos con cationes como el hierro (Fe^{2+}), aluminio (Al^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}), lo que aumenta su solubilidad a medida que el pH se vuelve más ácido. Una vez absorbido, el fósforo acumulado en las células corticales de la raíz debe ser transferido al xilema, donde se transporta en su mayoría en forma de fósforo inorgánico y se distribuye por toda la planta (Fernández, 2007).

2.13 El Calcio en la producción de plántulas

El calcio, un ion con carga positiva, es esencial para ciertas enzimas en las plantas, aunque sus funciones más destacadas son fortalecer las paredes celulares y regular la permeabilidad de la membrana. Esto es crucial para incrementar el grosor de la pared celular, lo que a su vez reduce la evapotranspiración, disminuye el estrés hídrico y aumenta la resistencia frente a plagas y enfermedades. Es un catión con movilidad limitada dentro de la planta. Se absorbe a través de las raíces desde la solución del suelo y se transporta hacia las partes aéreas de la planta por el xilema. Las zonas que respiran más activamente son las que reciben la mayor cantidad de calcio, ya que la savia se dirige primero a estas áreas. A diferencia de otros nutrientes, el calcio no puede ser redistribuido a través del floema a las partes de la planta en crecimiento que necesitan este elemento para formar nuevos tejidos. Sin embargo, esta limitación se puede modificar con aplicaciones foliares de calcio, ya que las hojas, los tejidos leñosos y otros órganos en desarrollo pueden absorberlo. Las raíces absorben el calcio del suelo en forma iónica, influenciadas por factores externos como el pH, la temperatura, la concentración de Ca^{2+} y la proporción de otros elementos. Además, factores internos como la estructura de la pared celular, la respiración, la fotosíntesis y la transpiración también juegan un papel importante en este proceso (Monge *et al.*, 1994).

2.14 Interacción de Calcio y Fósforo

Esta interacción se debe principalmente a la formación de fosfatos de calcio con diferentes niveles de solubilidad y a la retención de fósforo en las superficies de carbonato cálcico. En cuanto a la absorción de fósforo por las plantas, se ha identificado una acción estimulante del calcio. Se han propuesto varias teorías para explicar este efecto: una sugiere que el calcio incrementa la velocidad de transporte de fósforo debido a su influencia en los transportadores de este nutriente, mientras que otra teoría propone que el calcio actúa como una especie de "pantalla" en los sitios electronegativos, lo que mejora la accesibilidad a los puntos específicos de los iones fosfato (Fernández, 2007).

La presencia de un elemento en bajas concentraciones puede favorecer la absorción de otros. Por ejemplo, una baja concentración de calcio (Ca) puede aumentar la absorción de potasio (K) o del ácido fosfórico (H_2PO_4). Esta interacción tiene implicaciones prácticas en la fertilización, ya que permite un uso más eficiente y económico de los fertilizantes minerales (Ospina y Ceballos, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El presente experimento se llevó a cabo durante los meses febrero a mayo de 2024 en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila.

3.2 Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron semillas de chile chilaca. Para determinar su viabilidad se realizó la prueba de agua. Para ello las semillas se colocaron en agua durante 24 horas, pasado este tiempo, las semillas que se hundieron fueron las que se escogieron para la siembra.

3.3 Siembra

La siembra se realizó de manera manual el 21 de febrero de 2024, se utilizaron seis charolas de poliestireno de 200 cavidades y como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss y perlita (85/15 %, v/v). Cabe mencionar que la profundidad de la siembra fue entre 3 y 5 mm. Al finalizar la activas se procedió a tapar las charolas con plástico negro, con la finalidad de crear un microambiente adecuado para la germinación.



Figura 1. Chile chilaca a los 20 días después de la siembra.

3.4 Instalación del experimento

Debido a que el riego se realizó por capilaridad se procedió a la elaboración de cajas de madera, las dimensiones de estas fueron de: 77 cm de largo, 43 cm de ancho y 12 cm de altura. Estas cajas se forraron con plástico negro para evitar la filtración de la solución nutritiva. Posteriormente se colocaron las charolas en cada caja de madera, previamente identificadas con los tratamientos.



Figura 2. Instalación del experimento

3.5 Tratamientos

Los tratamientos evaluados consistieron dos concentraciones de Ca (5 y 7 meq L⁻¹) y tres concentraciones de P (0.8, 1.0 y 1.2 meq L⁻¹) y, dando así un total de seis tratamientos. Las diferentes concentraciones de P y Ca se obtuvieron a partir de modificación al 70 % de la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos evaluados para la producción de plántula de Chile chilaca.

| Tratamiento | Ca (meq L ⁻¹) | P (meq L ⁻¹) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 5 | 0.8 |
| 2 | 5 | 1.0 |
| 3 | 5 | 1.2 |
| 4 | 7 | 0.8 |
| 5 | 7 | 1.0 |
| 6 | 7 | 1.2 |

3.6 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.

3.7 Riego y fertilización

El riego se efectuó de manera manual, utilizando la técnica de capilaridad con una duración promedio de 40 min, hasta que en la superficie de cada charola se observó una película de agua, aplicando 3 L solución nutritiva. Los intervalos de riego promedio fueron cada tercer día, según las condiciones ambientales. Los fertilizantes y la cantidad de cada uno de estos utilizados para la preparación de cada solución nutritiva se presentan en siguiente cuadro.

Cuadro 3. Cantidad de fertilizantes utilizados para la preparación de la solución nutritiva de los diferentes tratamientos.

| Tratamientos | Fertilizantes | | | | Ácidos | |
|--------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| | KNO ₃ | CaNO ₃ | MgNO ₃ | K ₂ SO ₄ | HNO ₃ | H ₃ PO ₄ |
| T1 | 7.38 g | 0.59 g | 0.77 g | 3.97 g | 7.1 ml | 1.1 ml |
| T2 | 7.78 g | 0.59 g | 0.77 g | 3.27 g | 6.7 g | 1.3 ml |
| T3 | 8.18 g | 0.59 g | 0.77 g | 2.57 g | 6.4 ml | 1.6 ml |
| T4 | 3.33 g | 5.31 g | 0.77 g | 10.92 g | 7.1 ml | 1.1 ml |
| T5 | 3.74 g | 5.31 g | 0.77 g | 10.52 g | 6.7 ml | 1.3 ml |
| T6 | 4.54 g | 5.31 g | 0.77 g | 9.52 g | 3.6 ml | 1.6 ml |

KNO₃ = nitrato de potasio, CaNO₃ = nitrato de calcio, MgNO₃ = nitrato de magnesio, K₂SO₄=sulfato de magnesio, HNO₃ = ácido nítrico, H₃PO₄ = ácido fosfórico.

3.8 Manejo de plagas y enfermedades

Durante el tiempo del desarrollo del experimento se presentó Trips (*Frankliniella occidentalis*) y para su control se aplicó el insecticida malatión a una dosis de 1.5 ml por litro de agua.

3.9 Variables evaluadas

Crecimiento

A los 76 días después de la midió la altura la plántula a partir del primer nudo del tallo hasta la punta apical utilizando una cinta métrica. La longitud de la raíz se midió desde la base del tallo hasta la punta radical. El diámetro de tallo se midió a 0.5 cm de la base del tallo, utilizando un vernier digital (modelo 1108-150). Se contabilizaron las hojas de cada una de las plántulas evaluadas para obtener el número de hojas promedio por plántula. El volumen de raíz se determinó por la técnica de desplazamiento, para ello la raíz de cada plántula (previamente se

eliminó el exceso de sustrato) se sumergió en una probeta con un volumen conocido y se registró el volumen desplazado.

Biomasa seca

Se separaron los distintos órganos de la plántula: raíz, tallo y hoja. Cada uno se colocó por separado en bolsas de papel estraza y luego se introdujeron en un horno de secado a 65 °C durante 72 horas y/o hasta obtener el peso constante. Posteriormente, se registró la biomasa seca de cada uno utilizando una balanza analítica (Torrey modelo PCR-40). El peso seco total se obtuvo mediante una suma aritmética de la biomasa seca de cada órgano evaluado.

3.10 Análisis estadístico

Los datos colectados 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

De acuerdo a los análisis de varianza tanto de calcio (Ca) y de fósforo (P) revelaron que la altura y número de hojas (NH) de las plántulas de chile chilaca no presentaron efectos significativos con el suministro de estos nutrimentos. Mientras que, la longitud de raíz (LR) y volumen de raíz (VR) muestran diferencias significativas con el suministro de Ca y P. El diámetro de tallo (DT) solo presentó diferencia significativa con el suministro de P (Cuadro 4). La interacción entre estos dos factores afectó significativamente la mayoría de las variables mencionadas a excepción de VR. La biomasa seca de los diferentes órganos de las plántulas fueron influenciadas por las concentraciones de P y Ca. El peso seco de tallo (PST), peso seco de hoja (PSH) y peso seco total (PSTo) registran diferencias significativas con el suministro de Ca, pero, el peso seco de raíz (PSR) no presentó significancia. El PST se observa diferencia significativa con la aplicación de P (Cuadro 5), el resto de las variables de biomasa no fueron influenciados significativamente. La interacción entre Ca y P tuvieron efectos significativos en los diferentes órganos de las plántulas.

Al nutrir las plantas con 5 meq L^{-1} de Ca presentaron una mayor LR y VR, ya que la concentración superior a esta disminuyó el efecto (Cuadro 4). Por su parte, Sanz *et al.* (2001) señalan que, una de las funciones del calcio en las plantas es que tiende a reducir la permeabilidad de las raíces jóvenes, lo que provoca la elongación de los pelos radicales, aumentando así la exploración en el suelo. El mayor DT y VR se obtuvo con menores concentraciones de P, estos resultados difieren a lo reportado por Bustos *et al.* (2008) quienes señalan que, altas concentraciones de fósforo provocan un aumento en todos los parámetros morfológicos evaluados. Diversos autores han señalado una relación positiva entre la concentración de fósforo y la producción de nuevas raíces (Valdecantos *et al.* 2006, Oliet *et al.* 2008).

Cuadro 4. Efecto de Ca y P en las variables morfológicas de las plántulas de chile chilaca.

| Calcio (me L ⁻¹) | Altura (cm) | Longitud de raíz (cm) | N° de hojas | Diámetro de tallo (mm) | Volumen de raíz (ml) |
|--|----------------|--------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| 5 | 18.55 a | 11.86 a | 13.77 a | 1.54 a | 0.82 a |
| 7 | 19.48 a | 9.75 b | 13.03 a | 1.61 a | 0.72 b |
| ANVA p≤ | 0.17 | 0.001 | 0.06 | 0.34 | 0.02 |
| Fósforo (me L⁻¹) | | | | | |
| 0.8 | 19.82 a | 10.66 ab | 14.03 a | 1.76 a | 0.87 a |
| 1.0 | 18.44 a | 11.31 a | 13.18 a | 1.42 b | 0.74 b |
| 1.2 | 18.80 a | 10.43 b | 12.98 a | 1.53 b | 0.70 b |
| ANVA p≤ | 0.23 | 0.04 | 0.07 | 0.004 | 0.003 |
| Interacción p≤ | 0.001 | 0.0011 | 0.0016 | 0.01 | 0.56 |
| CV | 8.35 | 6.13 | 6.59 | 10.9 | 11.13 |

Ca=calcio, P=fósforo, ANVA= análisis de varianza, CV=coeficiente de variación, interacción= interacción de calcio y fósforo. Las letras a y b son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

Cuadro 5. Efecto de Ca y P en la biomasa seca de las plántulas de chile chilaca.

| Calcio (me L ⁻¹) | PSH | PST | PSR | PSTo |
|--|--------|---------|--------|--------|
| 5 | 0.15 b | 0.11 b | 0.06 a | 0.34 b |
| 7 | 0.18 a | 0.13 a | 0.05 a | 0.38 a |
| ANVA p≤ | 0.02 | 0.01 | 0.19 | 0.04 |
| Fósforo (me L⁻¹) | | | | |
| 0.8 | 0.18 a | 0.14 a | 0.06 a | 0.38 a |
| 1.0 | 0.15 a | 0.11 b | 0.05 a | 0.32 a |
| 1.2 | 0.17 a | 0.13 ab | 0.06 a | 0.36 a |
| ANVA p≤ | 0.11 | 0.02 | 0.46 | 0.06 |
| Interacción p≤ | 0.0003 | 0.001 | 0.005 | 0.001 |
| CV | 14.4 | 13.4 | 15.0 | 12.57 |

Ca=calcio, P=fósforo, ANVA= análisis de varianza, CV=coeficiente de variación, interacción= interacción de calcio y fósforo, PSH= peso seco de hoja, PST=peso seco de tallo, PSR=peso seco de raíz y PSTo=peso seco total. Las letras a y b son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

Altura

La mayor altura de estas plántulas se registró cuando fueron irrigadas con soluciones que contenían 0.8 meq L^{-1} de P y 5 meq L^{-1} de Ca. En general, el aumento de la concentración de P incrementó la altura de las plántulas nutridas con 7 meq L^{-1} de Ca, aunque este incremento no fue tan pronunciado como con 0.8 meq L^{-1} de P y 5 meq L^{-1} de Ca. La menor altura se observó en plántulas irrigadas con 1.0 meq L^{-1} de P y 5 meq L^{-1} de Ca. Arun-Prasad *et al.* (1990) reportan resultados similares, donde mayores aplicaciones de calcio redujeron la altura inicial en *Acacia* spp., pero dosis bajas de calcio favorecieron el aumento en altura. Esto sugiere que una combinación adecuada de fósforo y calcio en el suelo, en una proporción correcta, podría favorecer el crecimiento.

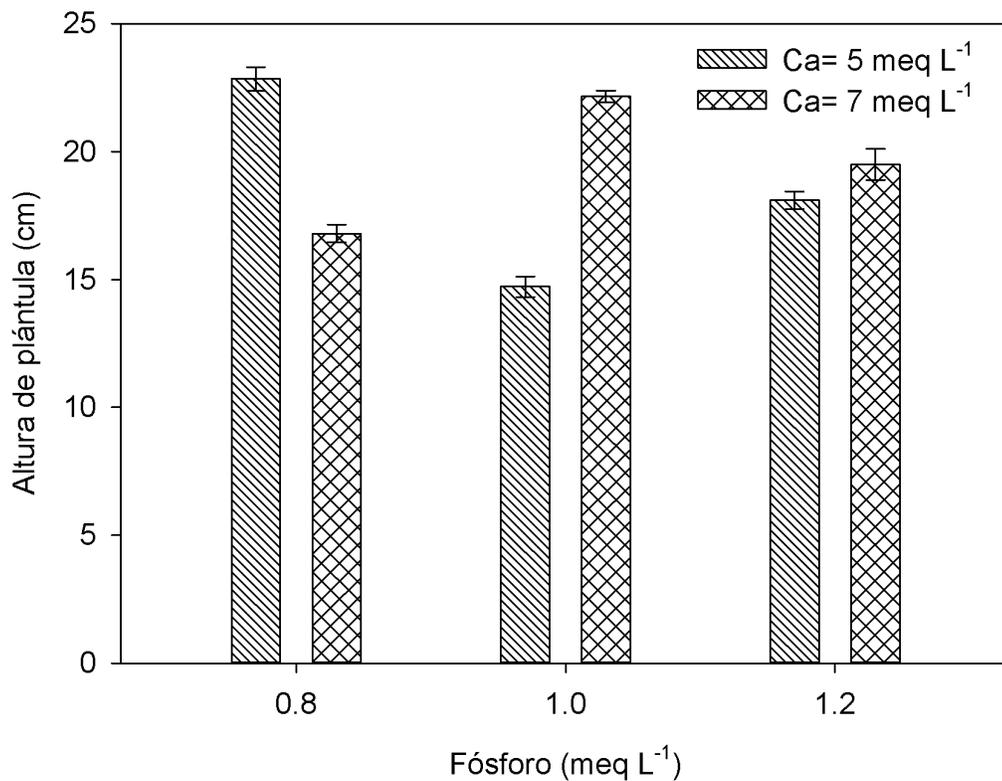


Figura 3. Efecto de la interacción de Ca y P en la altura de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Longitud de raíz

La longitud de la raíz de las plántulas de chile chilaca chilaca var. Tequisquiapan tuvieron un mayor incremento a una concentración de 1.0 meq L⁻¹ de P y 5 meq L⁻¹ de Ca. Por otro lado, se observó que al incrementar la concentración de P en combinación con 7 meq L⁻¹ de Ca, redujo el crecimiento de la raíz. El menor tamaño se raíz se presentó con 7 meq L⁻¹ de Ca y 1.2 meq L⁻¹ de P. González *et al.* (2020) reportaron un estudio realizado con plantas de *A. punctatum*, los tratamientos que omitieron los elementos testeados (fósforo y calcio) mostraron los valores más bajos en cuanto al número y longitud de raíces nuevas. Por otro lado, los tratamientos con mayores concentraciones nutricionales presentaron una mayor longitud de raíces en comparación con aquellos que recibieron menos fertilización.

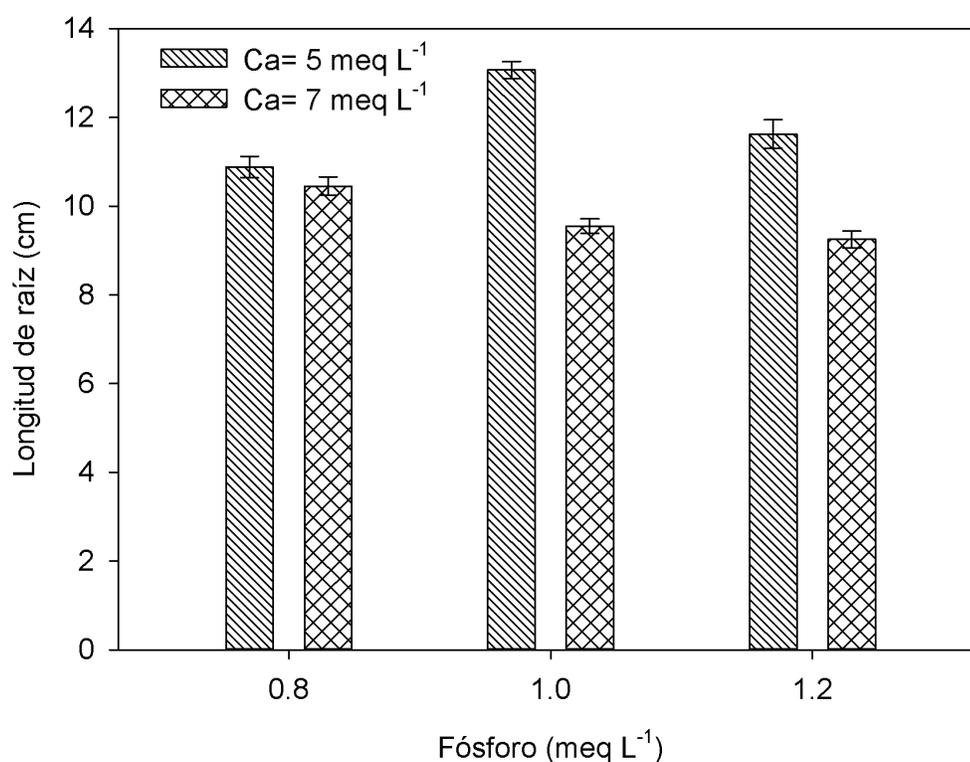


Figura 4. Efecto de la interacción de Ca y P en la longitud de raíz de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Número de hojas

El número de hojas de las plántulas se incrementaron en aquellas que fueron nutridas con 5 meq L⁻¹ de Ca y 0.8 meq L⁻¹ de P, pero al incrementar la concentración de P a 1.0 meq L⁻¹ disminuyó la cantidad de hojas, pero volvió a aumentar con 1.2 meq L⁻¹ de P. En el caso de 7 meq L⁻¹ de Ca aumento el número de hojas en combinación con 1.0 meq L⁻¹ de P. Estos resultados difieren a lo reportado por Sallaku *et al.* (2008) quienes mencionan que, a mayores concentraciones de calcio en soluciones nutritivas se relacionan con una mejora del área foliar y de la biomasa vegetal en general. Por otra parte, concentraciones adecuadas de P y Ca son beneficiosas para el crecimiento de las hojas, en este sentido Sultonova y Kh. (2020) mencionan que, los niveles excesivos de estos nutrientes pueden conducir a desequilibrios y reducir el número de hojas, como se presentó en sus estudios de papa donde concentraciones más altas de P retrasaron la floración y reducción del conteo de foliolos. Por lo tanto, mantener niveles óptimos de nutrientes es crucial para maximizar la producción de hojas.

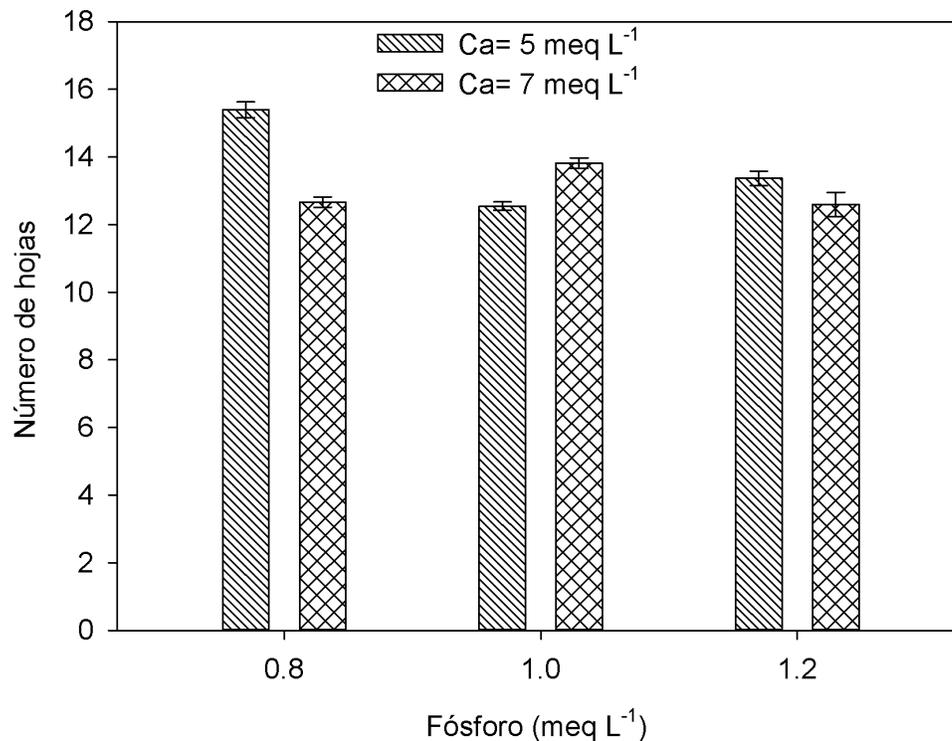


Figura 5. Efecto de la interacción de Ca y P en el número de hojas de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Diámetro de tallo

El mayor diámetro de tallo se presentó en las plántulas que fueron irrigadas con una solución que contenía 5 meq L⁻¹ de Ca y 0.8 meq L⁻¹ de P. El menor diámetro fue con 5 meq L⁻¹ de Ca y 1.0 meq L⁻¹ de P. En un experimento realizado por Marschner (2002) menciona que, es probable que los altos niveles de calcio presentes en la cachaza se acumulen en el tallo, podría incrementar su diámetro y resistencia de tallos. Por otra parte González (2013) observó que, la dosis del 117 gm⁻² de K y 10.57 g m⁻² de Ca incrementaron el diámetro del tallo, pero al incrementar la dosis de Ca el diámetro basal del tallo disminuyó. Lo que concuerda con lo encontrado en este experimento, ya que al incrementar la concentración de Ca a 7 meq este se mantuvo con un diámetro similar con las concentraciones de P a comparación de los tratamientos con 5 meq de Ca.

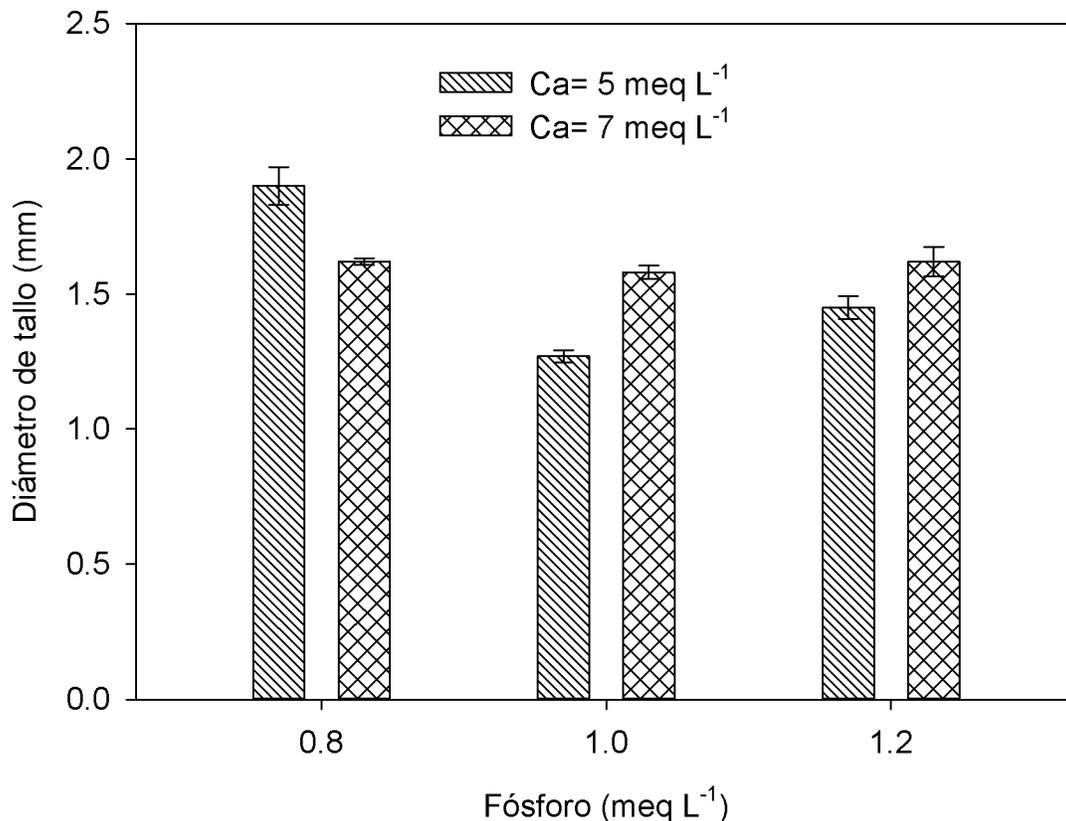


Figura 6. Efecto de la interacción de Ca y P en el grosor del diámetro de tallo de las plántulas de Chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Peso seco de hojas

El peso seco de hojas de las plántulas fue mayor al ser tratadas con 5 de meq L^{-1} Ca y 0.8 meq L^{-1} de P ó 7 de meq L^{-1} Ca y 1.0 meq L^{-1} de P, pero con 5 meq L^{-1} de Ca y 1.0 meq L^{-1} de P disminuyó el peso seco (Figura 8). Contrario a lo obtenido de esta investigación fue reportado por Dussan *et al.* (2016) ya que indicaron que, cuando las plantas presentan deficiencia de fósforo, se observa una disminución tanto en el crecimiento como en la cantidad de hojas, lo cual perjudica el desarrollo general de la planta. Esta carencia limita procesos esenciales como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, lo que reduce su productividad y la acumulación de biomasa.

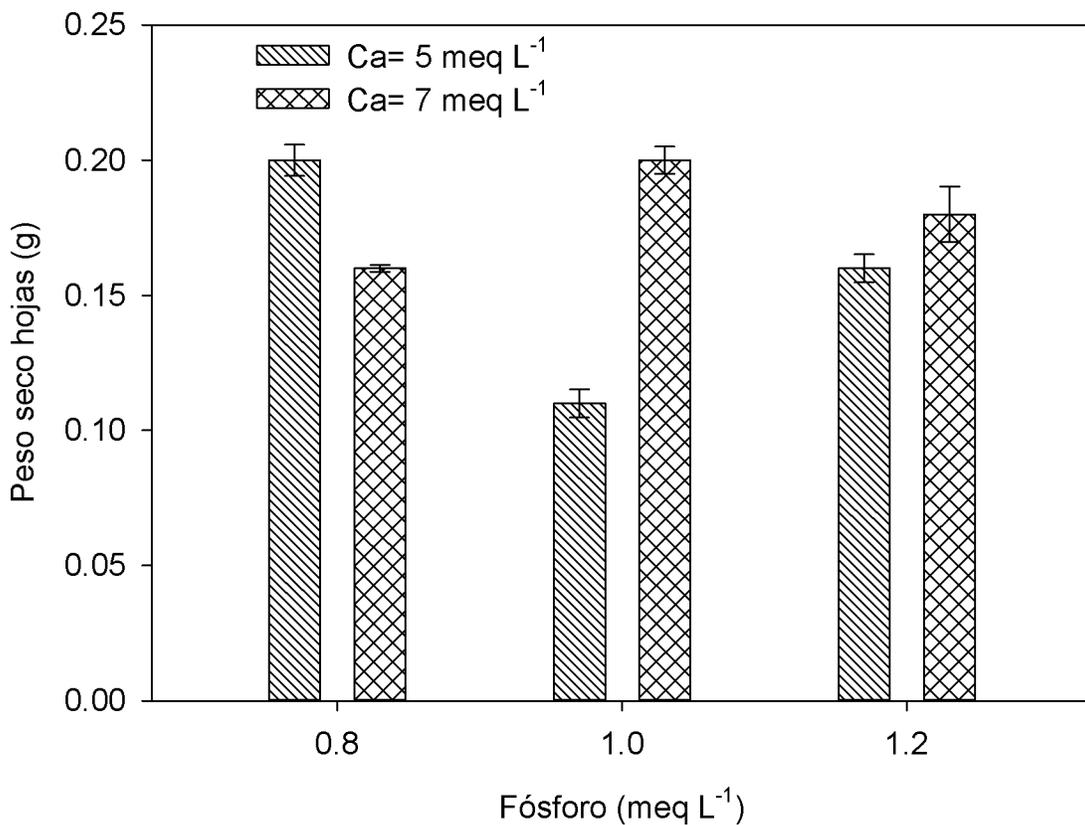


Figura 7. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco de hojas de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Peso seco raíz

El mayor peso seco de la raíz se generó con 5 meq L⁻¹ de Ca y 1.2 meq L⁻¹ de P, sin embargo, para el caso de 7 meq L⁻¹ de Ca con la misma concentración de P fue donde se obtuvo menor peso seco. En la concentración de 0.8 meq L⁻¹ de P no mostro alguna diferencia en ambas concentraciones de Ca. Estos resultados fueron similares a lo reportado por Arun-Prasad *et al.* (1990) y Rincón (2000) quienes sugieren que, niveles elevados de calcio redujeron ligeramente el crecimiento de *Leucaena leucocephala* y *Acacia sp.* Por su parte, Bakker *et al.* (2009) encontraron que, la fertilización con fósforo, junto con una mezcla de nutrientes, redujo la densidad y el grosor de las raíces en parcelas de *Pinus pinaster* Ait. Lo anterior difiere con este experimento ya que, al incrementar la concentración de P aumento la biomasa del peso seco de la raíz.

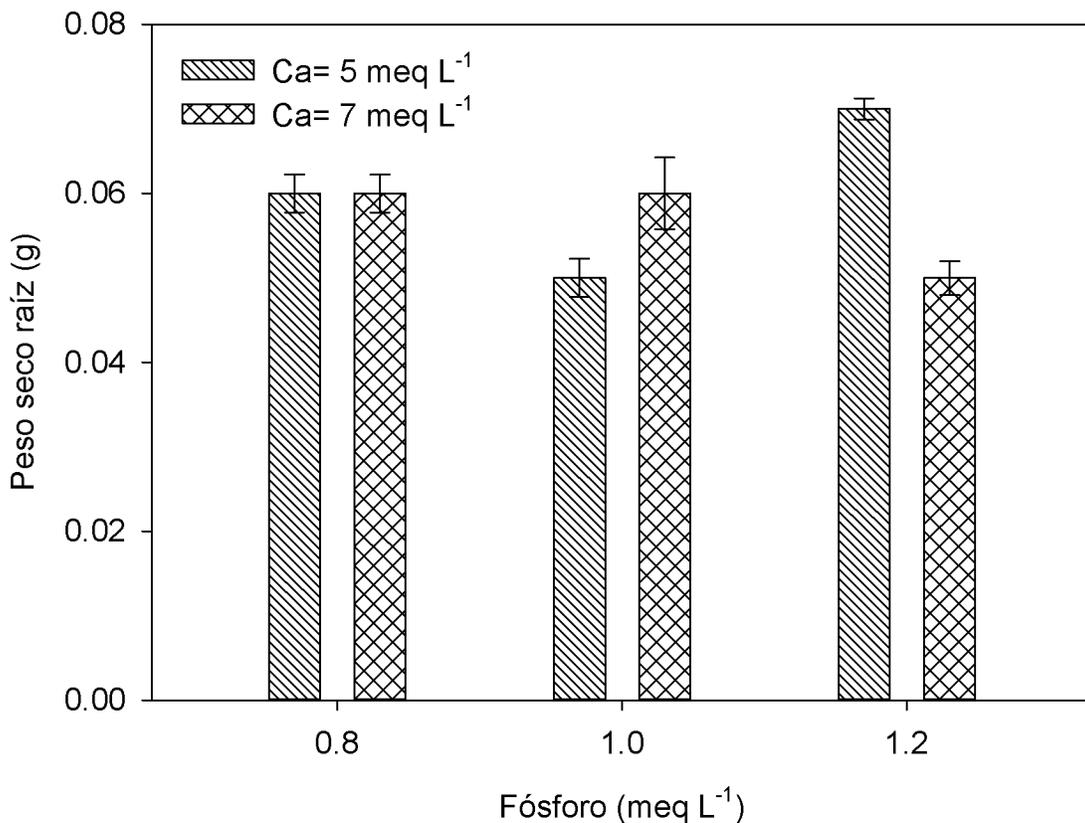


Figura 8. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco de la raíz de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Peso seco tallo

El peso seco del tallo mostró que, a una concentración de 5 meq L⁻¹ de Ca y 0.8 meq L⁻¹ de P se obtiene un peso mayor, pero este fue menor a una concentración de 1.0 meq L⁻¹ de P, siendo así el más bajo que se registró. Aunque con la concentración de 1.0 meq L⁻¹ de P si hubo aumento al nutrir las plantas con 7 meq L⁻¹ de Ca, siendo así el mayor peso al de las otras concentraciones de P de aplicado. Morad *et al.* (1996) reportan que, en plantas de tomate cultivadas en un sistema hidropónico, se observó que la ausencia total de calcio en el sustrato durante 8 días detuvo el crecimiento de los tallos. Estos resultados confirman la importancia del calcio en el crecimiento vegetal.

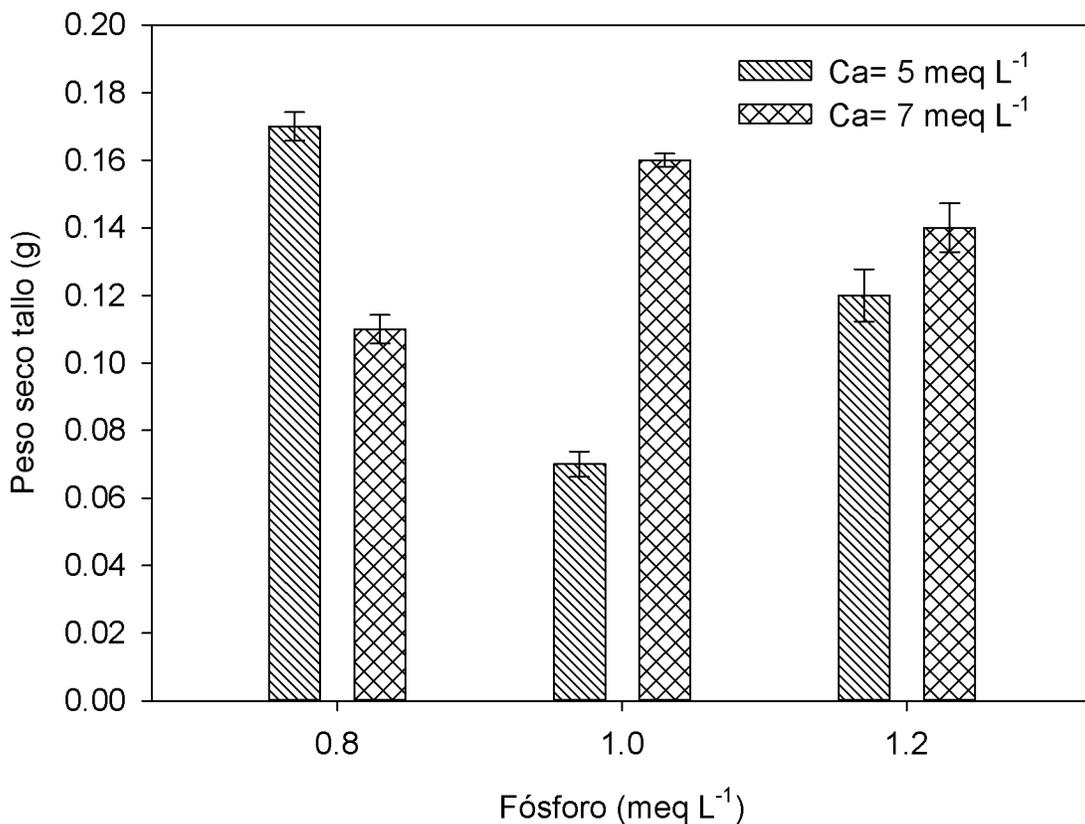


Figura 9. Efecto de la interacción de Ca y P en el peso seco del tallo de las plántulas de chilaca chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

Peso seco total

El mayor peso de la biomasa seca total de la plántulas se obtuvo al nutrirlas con 5 meq L⁻¹ de Ca y 0.8 meq L⁻¹ de P ó con 7 meq L⁻¹ de Ca en combinación con 1.0 meq L⁻¹ de P. Por otra parte, con una concentración de 5 meq L⁻¹ de Ca y 1.0 meq L⁻¹ de P en la solución nutritiva, las plántulas presentaron el menor peso seco total. En cambio, a una concentración de 1.2 meq L⁻¹ de P en ambas concentraciones de Ca hubo un peso similar. Asencio y Lazo (2021) señalan que, la mayor acumulación de biomasa total en las plantas de frijol se presentó en plantas nutridas con Ca-P en comparación con Fe-P, sugiere que las plantas tienen una mayor capacidad para utilizar el fósforo proveniente del Ca-P.

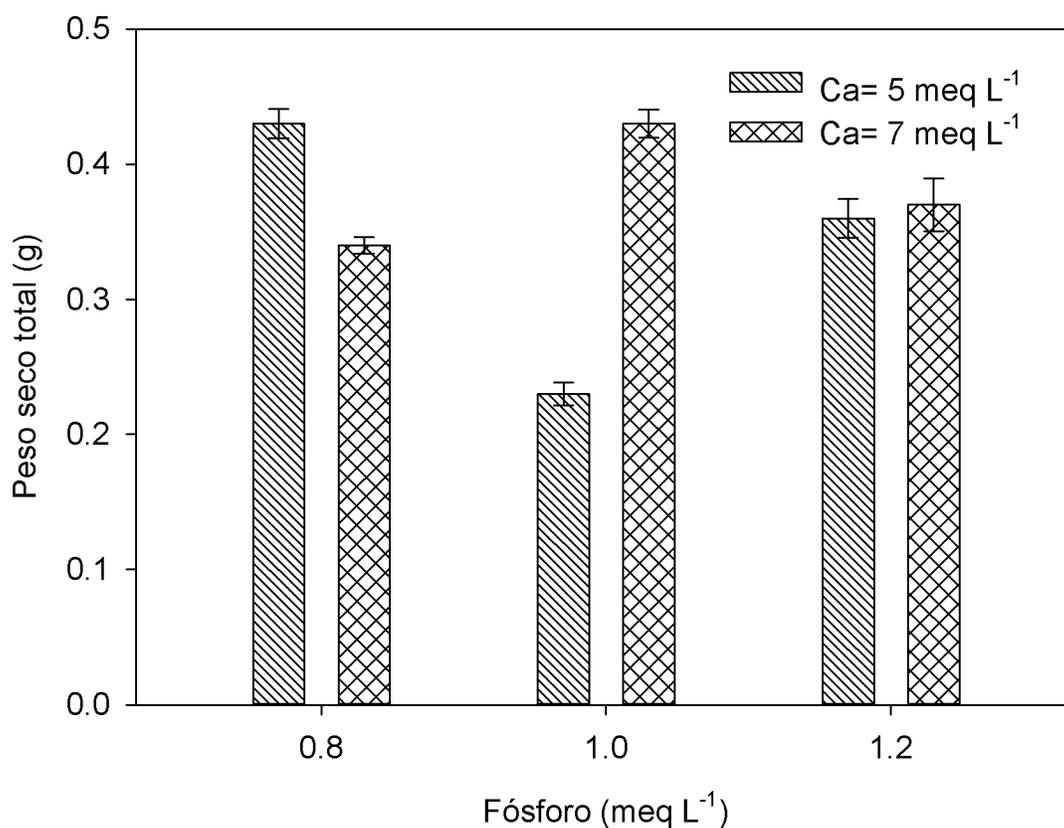


Figura 10. Efecto de la interacción de Ca y P en la biomasa seca total de las plántulas de chile chilaca. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos.

V. CONCLUSIONES

Las plántulas de chile chilaca mostraron un efecto positivo en su crecimiento y desarrollo al ser nutridas con 5 meq L⁻¹ de Calcio y 0.8 meq L⁻¹ de Fósforo, aumentando su altura, número de hojas, diámetro de tallo y el peso seco del tallo. Pero, por otro lado, con 5 meq L⁻¹ de Ca y 1.0 de P L⁻¹ se obtuvo la mayor longitud de raíz, lo cual es muy importante en la etapa de endurecimiento de la plántula, favoreciendo su adaptación y tolerancia al estrés tras el trasplante.

Las concentraciones de 7 meq L⁻¹ de Ca y 1.0 meq L⁻¹ de P, así como 5 meq L⁻¹ de Ca y 0.8 meq L⁻¹ de P, dieron resultados similares, con un mayor peso seco de hoja y peso total de las plántulas. Sin embargo, en términos de calidad y crecimiento de la planta, los resultados indican que se obtiene mejor plántula al ser irrigadas con las concentraciones menores, ya que al aumentar las concentraciones de Ca y P muestran una sensibilidad disminuyendo su crecimiento.

VI. REFERENCIAS

- Adrianzen Gil, V. M. (2017). Uso del agua de mar para el desarrollo de un cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) mediante el riego por capilaridad en un huerto escalonado. Tesis de Licenciatura. ICA. Peru. 22 p.
- Aguilar, V. H. (2012). Cultivo del chile en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(4), 264 p.
- Aguirre, C., Iturriaga de la fuente, G., Ramirez, J., Covarrubias, J., Chable, F., Raya, J. (2017). El chile (*c. annuum l.*), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnol. Agrop*, 5(1), 22p.
- Aguirre, E., Muñoz, V. (2015). El chile como alimento. *Revista ciencia*, 66 (3), 17-19 pp.
- Arriaga, J. (2011). Evaluación de tres enraizadores comerciales en la producción de plántulas de chile ancho y chile serrano (*Capsicum Annuum L.*). Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 14-15pp.
- Arun-Prasad, N., T. K. Kapoor, P. Khatin, J. Chouham y A. Bhowmick. (1990). Effect of salts on the soil reaction and growth and dry matter yield of *Leucaena leucocephala* and *Acacia auriculiformis* in pot cultures. *Indian Forests* 116 (3): 227-232 pp.
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M. G., Ruiz-Espinoza, F. H., Velázquez, T. J., Valenzuela-López, M. & Parra-Delgado, J. M. (2015). Bell pepper production under colored shade nets. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1), 93-99 pp.
- Cadahía, C. (1998). Fertirrigación de cultivos Hortícolas y ornamentales.
- Contreras, D. O. (2013). Evaluación del rendimiento de variedades de chile poblano (*capsicum annuum l.*) en campo abierto y en macrotunel. Tesis de Licenciatura. UASLP. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. 13 p.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P. & Alejo-Santiago, G. (2014). Leaf nutrient concentration and plant growth of chili serrano in relation to nutrient solution and substrate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289–295 pp.

- Dussan SL, DA Villegas, D Miranda. 2016. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10(1): 40-52 pp.
- Epstein, E. 1961. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. *Plant Physiology* 36: 47-444 pp.
- Escobar R, M Sánchez, G Pereira. (2002). Forest nursery management in Chile. In Dumroese RK, LE Riley, TD Landis eds. National Proceedings: Forest and conservation nursery Associations. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 219-225.
- GEZ, 1998. Guía práctica de los principales cultivos del estado. Gobierno del Estado de Zacatecas. 41 p. <http://www.faxsa.com.mx/semhort1c60ch001.htm>.
- Gómez, V. B. (2014). El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo*, (125), 58-63.
- Gonzales, M. (2012). La Guía. En línea: 66 <http://fisica.laguia2000.com>.
- González Ortega, M., Ríos, L., Peña-Rojas, K., García Rivas, E., Acevedo Tapia, M., Cartes Rodríguez, E., & Sánchez-Olate, M. (2020). Efecto de la concentración de fósforo y calcio sobre atributos morfo-fisiológicos y potencial de crecimiento radical en plantas de *Aextoxicon punctatum* producidas a raíz cubierta en la etapa de endurecimiento.
- González, L. H. 2013. Efecto de la Concentración de Calcio y Potasio en la Solución de Fertirriego en Tomate Bajo Invernadero. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo Coahuila. 43 p.
- González, M, R., Peña, R, K., García, E, A., Manuel, C, E., Sánchez, O. (2020). Efecto de la concentración de fósforo y calcio sobre atributos morfo-fisiológicos y potencial de crecimiento radical en plantas de *Aextoxicon punctatum* producidas a raíz cubierta en la etapa de endurecimiento. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 137-146 pp.
- Hermosillo-Cereceres, M. A.; González-García, J.; Romero-Gómez, S. J.; Luján-Favela, M.; Hernández-Martínez, A.; Arévalo-Gallegos, S. (2008). Relación genética de materiales

- experimentales de chile tipo chilaca con variedades comerciales. *Revista Chapingo serie Horticultura*. 14(3), 301-307 pp.
- Janick, J. 1985. Horticultura científica e industrial. Editorial Acribia Zaragoza. España. 54 p.
- Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of higher plants. 2da Ed. Academic Press. London. Pp.89.
- Martinez, J. (2020). Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero. Comité editorial, 50 p.
- Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A., & Montañés, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. In *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* (Vol. 21, No. 3, pp. 189-201).
- Morard P., Pujos A., Bernadac A., Bertoni G. 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and mineral nutrition. *J. Plant Nutr.* 19 (1) 115-127 pp.
- Múnera Vélez, G. A. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal.
- N, Sultonova., Qo'shiyev, Kh.. (2020). Efficiency Indicators Of Phosphorus In The Development And Cultivation Of Potato. 02(08):44-51. doi: 10.37547/TAJABE/VOLUME02ISSUE08-04.
- Navarro G. (2000). Fertirrigación del cultivo de Chile. Curso de capacitación. (SAGARPA, 2003).
- Noya, M., Mendoza, J., Tapia, M. (2020). Eficiencia del agua en producción de remolacha bajo métodos de riego por capilaridad y goteo. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*. 18 (21), 65-101 pp.
- Nuez, V. F. 2001. El cultivo del chile. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- Ochoa, P., Peña, M. (2012). Efecto del riego subsuperficial en la microinjertación del cacao. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 21, 54-58 pp.

Olvera, R., Mata, B. y Mora, J. (1992). Fertilización óptima, económica y densidad de población de chile pasilla (*capsicum annum L. var. long u m sendt*) en Matamoros de los hoyos, municipio de Lagos de Moreno, Jalisco. Tesis de Licenciatura. CUCBA. Zapopan, Jalisco. 4-5 pp.

Ospina P, B y Ceballos H. (2002). La yuca en el tercer milenio, sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización.

Palomo, R. M., Luja, F. M., Avila, Q. G., Berzoza, M. M. (2003). Enfermedades radiculares del cultivo de chile (*capsicum annum*) y medidas de control. Chihuahua. 2-18 pp.

PANDA, R., P. BEHERA; & P. KASHYAP. (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 3(66): 181-203 pp.

Rincón, J. 2000. Efecto de la inoculación de cepas nativas e introducidas de *Rhizobium* sp. sobre la producción de materia seca y nitrógeno en *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit). Tesis. Universidad del Zulia. Maracaibo. 101 p.

SADER. 2015. Producción del chile mexicano. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-del-chile-mexicano#:~:text=El%20chile%20es%20el%208,frescos%2C%20secos%20y%20en%20preparaciones>.

SADER. 2024. México entre los principales productores de chile verde en el mundo: Agricultura. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-de-chile-verde-en-el-mundo-agricultura?idiom=es>

SAGARPA. 2012. Plan Rector del Sistema Producto chile Seco 24 de febrero de 2012.

Sallaku, G., Balliu, A., Huta, M., & Doko, A. (2008). N and Ca Concentration of Pre Transplant Nutrient Solution Effects on the Stand Establishment Rate of Pepper (*C. annum. L*) Seedlings under Saline Conditions. In *International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate* 807 (pp. 195-200).

Sanz MA, A Blanco, E Monge, J Val. 2001. Caracterización de la deficiencia de calcio en plantas de tomate utilizando parámetros fisiológicos. *ITEA* 97(1): 26-38 pp.

- Sardans J, J Peñuelas. 2005. Disponibilidad y uso del fósforo en los ecosistemas terrestres mediterráneos: la inspiración de Margalef. *Ecosistemas* 14(1): 29-39.
- Segovia, A., Romero, A. (2014). Mejoramiento genético para rendimiento de chile (*capsicum annum* L) para consumo en seco en la región centro-sur del estado Chihuahua, México. *Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2 (1), 321 p.
- SIAP. 2017. El chile, corazón de la gastronomía mexicana. En línea: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-chile-corazon-de-la-gastronomia-mexicana>
- SIAP. 2019. Chile verde: para todos los gustos. En línea: <https://www.gob.mx/siap/articulos/chile-verde-para-todos-los-gustos>
- SIAP. 2020. El Chile es parte de nuestra riqueza mexicana. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-chile-es-parte-de-nuestra-riqueza-mexicana>
- Steiner, A.A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154 pp.
- Tapia-Vargas, M., Larios-Guzmán, A., Díaz-Sánchez, D.D., Ramírez-Ojeda, G, Hernández-Pérez, A., Vidales-Fernández, I. & Guillén-Andrade, H. (2016). Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum Chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 241-245 pp.
- Valdecantos A, J Cortina, VR Vallejo. 2006. Nutrient status and field performance of tree seedlings planted in Mediterranean degraded areas. *Annals of Forest Science* 63: 249-256 pp.
- Villegas-Torres, O.G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G.A.; Rodríguez-Mendoza, M.N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M.; Cárdenas-Soriano, E. (2005). Crecimiento y estado nutricional de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*, 23 (1), 49-56 pp.
- Wattsagro, 1999. El cultivo del chile poblano (*Capsicum annum* L). En línea: <http://www.wattsagro.com>
- Yágodin, B.A. (1986). Agroquímica. Trad. al español por R. Rincón-Zabaco y F. Vargas-Salazar. Tomo I. Mir. Moscú. Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.