

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción De Plántula De Chile Pimiento (*Capsicum annuum* L.) Con Diferentes
Dosis De Fósforo Bajo Dos Sistemas De Riego.

Por:

JOSE ARMANDO PELAGIO RIOS

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

Producción De Plántula De Chile Pimiento (*Capsicum annum* L.) Con Diferentes
Dosis De Fósforo Bajo Dos Sistemas De Riego

Por:

JOSE ARMANDO PELAGIO RIOS

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

Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor

Dra. Rosalinda Mendoza Villareal
Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2024

Declaración 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

Jose Armando Pelagio Rios

Jose Armando Pelagio Rios

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dr. Armando Hernández Pérez', written over a horizontal line.

Dr. Armando Hernández Pérez

AGRADECIMIENTOS

Gracias **DIOS** por haberme permitido terminar mi carrera profesional y cuidar de mi para convertirme en una persona de bien y guiarme por el camino adecuado en los momentos difíciles.

A mi querida “**Alma Terra Mater,**” por haberme abierto sus puertas durante mi estancia en mi carrera profesional y por haberme brindado techo y comida.

A mis abuelos paternos **Nicolas Pelagio (†)** y **Guadalupe navarro (†)**.

Ami abuelita materna **Imelda Rios Navarrete**, por haberme apoyado desde que comenzó este sueño, dándome motivaciones de echarle ganas a la escuela para que su nieto fuera un profesionista.

En especial a mi abuelo materno **Tiburcio Rios Lomelí (†)**, por haberme inculcado desde chico el amor a la agricultura, por sus buenos consejos que siempre me decía y gracias aty estoy cumpliendo mi sueño, y sé que si estuvieras conmigo estarías orgulloso de tu nieto “**Domingo**”. Té quiero mucho viejo espero que desde el cielo me estes viendo.

También a **Jessica Alejandra Villanueva Zambrano**, por haberme brindado su apoyo desde aquel domingo en el arco de mi “**Alma Terra Mater,**” por las palabras de motivación cuando sentía que ya no podía seguir más con esto, y por su compañía durante este sueño que está a punto de hacerse realidad. Té quiero

A mi primo **pichano (†)** gracias por haberme permitido vivir la bonita infancia que tuvimos, té mando un fuerte abrazo hasta el cielo campeón.

Al Dr. Armando Hernández Pérez por haberme brindado su apoyo desde que empezó esta investigación que llevamos a cabo gracias. Lo admiro por su inteligencia y la manera que tiene para explicarnos los conocimientos de usted y por haberme brindado esa bonita amistad.

DEDICATORIA

Dedico este logro a las dos personas que más amo y que me dieron la vida: mis padres, **María Lila Ríos Navarrete y Armando Pelagio Navarro**. Desde niño, me enseñaron a luchar por mis sueños, a tomar decisiones con valentía ya perseverar ante las adversidades. Gracias a su apoyo incondicional y sus esfuerzos, hoy tengo la oportunidad de vivir esta maravillosa etapa de mi vida. Estoy aquí gracias a ustedes, y deseo que se sientan profundamente orgullosos de su hijo. Gracias por nunca dejarme solo. **Los amo.**

A mi hermana **Guadalupe Paola Pelagio Rios** porque siempre estuvo presente, gracias por las palabras de motivación que me brindaste durante mi carrera y por ser una persona increíblemente inteligente y capaz de lograr todo lo que se propone. **“Gorda”. Te quiero**

A mi hermanita **Brisa Abril Pelagio Rios** te dedico también esta meta porque eres parte fundamental de mí y de nuestra familia. Quiero que te sientas orgullosa de mí y que tomes este logro como inspiración para que persigas y cumplas todos tus sueños y anhelos. Cree en ti misma, porque eres una persona inteligente y sé que llegarás a ser una gran profesionalista, al igual que nosotros. Sigue esforzándote en la escuela, porque estoy seguro que vas lograr todo lo que te propongas. Te quiero.

Finalmente dedico este sueño a mi abuelo materno **Tiburcio Rios Lomelí (†)**, por hacer de mí un hombre de bien, por haberme enseñado cada uno de los valores que te describen como un hombre ejemplar, te doy gracias por compartirme tu amor por la agricultura que ahora es mi principal sueño, esta meta que culminó te la dedico hasta donde sea que te encuentres, te ama tu nieto **Domingo**.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivo específico.....	3
1.3 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Nutrición mineral.....	4
2.2 Fósforo.....	4
2.3 Funciones del fósforo en las plántulas.....	5
2.4 Fósforo en el crecimiento de las plántulas	5
2.5 Deficiencias del fósforo	6
2.6 Toxicidad del fósforo	9
2.7 Tipos de riego.....	9
2.7.1 Riego superficial	10
2.7.2 Riego por capilaridad.....	10
2.8 Historia y origen del chile pimiento	11
2.9 Principales países productores de chile	12
2.10 Principales estados productores de chile en México	12
2.11 Producción y calidad de plántula.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Localización del Experimento	14
3.2 Material vegetal	14
3.3 Preparación de bandejas para riego	14
3.4 Sustrato.....	14
3.5 Siembra en la charola	14
3.6 Tratamientos.....	14
3.7 Diseño experimental	15
3.8.1 Riego.....	15
3.8.2 Control de plagas y enfermedades	15
3.9 Variables Evaluadas	15

3.9.1	Altura de la planta (cm)	15
3.9.2	Diámetro de tallo (mm)	15
3.9.3	Longitud de raíz (cm)	15
3.9.4	Volumen de raíz (ml)	16
3.9.5	Peso seco de raíz (g)	16
3.9.6	Peso seco aéreo (tallos y hojas) (g)	16
3.9.10	Peso seco total de la planta (g)	16
3.9.11	Índice de contenido relativo de clorofila (ICRC)	16
3.9.12	Análisis estadístico	16
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
V.	CONCLUSIÓN	28
VI.	LITERATURA CITADA	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de concentración de fosforo en longitud de raíz, volumen de raíz altura y diámetro de tallo de la planta.....	18
Cuadro 2. De concentración de fosforo en peso seco en diferentes órganos de la planta.	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en volumen raíz de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	20
Figura 2. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en la longitud de raíz de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	21
Figura 3. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en el diámetro de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	22
Figura 4. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en la altura de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	22
Figura 5. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en peso seco de raíz de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	23
Figura 6. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en peso seco del tallo de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	24
Figura 7. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en peso seco de la hoja de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	25
Figura 8. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en peso seco total de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	26
Figura 9. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en la clorofila de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.	27

RESUMEN

El estudio se realizó en la Universidad Agraria Antonio Narro en el área de los invernaderos del Departamento de Horticultura en Saltillo, Coahuila, México, en verano del 2023. El objetivo de este estudio fue Determinar el efecto del fósforo y la forma de riego en el crecimiento y la calidad de las plántulas de chile pimiento Var. California Wonder. Se evaluaron cuatro concentraciones de fósforo (0.7,1.0,1.3 y 1.6 meq L⁻¹) y con dos formas de riego (normal y por capilaridad). El diseño utilizado fue completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x4 con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron; altura de la plántula, longitud de raíz, volumen de la raíz, diámetro de tallo, peso seco de raíz, tallos, hojas, peso seco total y el índice de contenido relativo de clorofila. En el peso seco de los diferentes órganos de las plántulas y el peso seco total se incrementó con el riego normal. En cuanto a las concentraciones de fósforo se obtuvo mayor peso seco de la hoja con 0.7 meq L⁻¹ de P. la concentración de 1.3 meq L⁻¹ de P promovió mayor peso seco de raíz, tallo, peso seco total e índice de contenido relativo de clorofila. Las formas de riego aumentaron la acumulación biomasa seca total con 1.3 meq L⁻¹ de P. Lo anterior sugiere que, la concentración de P es más determinante para la producción de plántulas de chile pimiento Var. California Wonder.

Palabras claves: Biomasa seca, volumen de raíz, longitud de raíz, clorofila.

I. INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una planta herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 m y 2 m, las plantas más altas corresponden a gran parte de los híbridos cultivados en invernadero. El sistema radicular se caracteriza por tener una raíz pivotante y profunda, dependiendo de la profundidad y textura del suelo. Además, la raíz se caracteriza por sus numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden extenderse entre 0,5 y 1 metro (Condes-Rodríguez 2017). El pimiento es una hortaliza rica en nutrientes, especialmente en vitamina C, y es conocido por sus propiedades antioxidantes y su potencial para mejorar la salud cardiovascular (López *et al.*, 2023). El pimiento es una planta con alta demanda de nutrientes y se debe comenzar con una buena fertilización basal. Las cantidades de fertilizantes variarán significativamente en función factores como disponibilidad de nutrientes en el suelo, calidad del agua de riego, tipo de suelo y clima. La absorción de NO_3^- , NH_4^+ , H_2PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , depende del estado de desarrollo de la planta (Martí y Mills 1991). El fósforo, después del nitrógeno, es el elemento más crítico para la producción agropecuaria; pero su disponibilidad es cada vez más limitada debido a la progresiva insuficiencia de sus fuentes naturales, su relativa escasez edáfica, elevada retención por parte de la matriz del suelo, la falta de reposición natural y su baja movilidad comparada con la de otros nutrientes (Rubio, 2002). La producción de plántula de buena calidad es importante para los productores de diversas hortalizas o viveristas, pues esto mejora el establecimiento del cultivo en campo. Entre los factores que determinan la producción de plántulas de buena calidad están el mantener un estado nutricional apropiado por medio de la fertilización, proporcionar niveles adecuados de humedad a través del riego y mantener la sanidad mediante el control de plagas y prevención de enfermedades (Guzmán y Sánchez 2003; Tuzel y Oztekin 2017; y Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020). Así mismo, (Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020) señalan que, la producción de plántula de buena calidad depende en buena medida del tipo de

sustrato utilizado, de la proporción en que se mezclen sus componentes, del tipo y dosis de fertilización aplicada y del aporte nutricional de cada componente para el desarrollo inicial de la plántula. La fertilización química que utilizó este autor fue (0.5, 1.0 y 1.5 g L⁻¹ de la fórmula 20N-18P-20K) para producir plántula de chile (*Capsicum annuum* L.) Poblano. Con la aplicación de fertilizante químico a una concentración de 1.0 g L⁻¹ de la fórmula 20-18-20 favoreció la obtención de plántulas de buena calidad.

1.1 Objetivo general

Determinar el efecto del fósforo y la forma de riego en el crecimiento y la calidad de las plántulas de chile pimiento Var. California Wonder.

1.2 Objetivo específico

Encontrar la mejor forma de riego que optimice el crecimiento de las plántulas de chile pimiento Var. California Wonder.

Obtener la concentración óptima de fósforo que mejore el crecimiento y la producción de biomasa seca de las plántulas de chile pimiento Var. California Wonder.

1.3 Hipótesis

Al menos una concentración de fósforo y forma riego impactara en un mayor crecimiento y calidad de las plántulas de chile Var. California Wonder.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Nutrición mineral

Bafoev *et al.*, (2022) menciona que, los fertilizantes minerales son sales y otros productos inorgánicos, industriales y minerales que contienen elementos necesarios para el desarrollo de las plantas y la fertilidad del suelo y se utilizan para obtener rendimientos estables y altos. Más de 70 elementos químicos intervienen en la formación del tejido vegetal, su crecimiento y desarrollo. Las plantas obtienen la mayor parte del carbono, el oxígeno y el hidrógeno del aire y el agua, mientras que el resto lo obtienen del suelo. La mayoría de los elementos que recibe la planta no vuelven al suelo, sino que son eliminados por el cultivo. Gran parte de los elementos del suelo son arrastrados por el agua e interactúan con los componentes del suelo para que la planta no pueda asimilarlos. Como resultado, hay una escasez de nutrientes para las plantas en las tierras cultivables y la fertilidad del suelo disminuye. Si los fertilizantes no reemplazan estos elementos perdidos, el rendimiento caerá bruscamente.

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo C, H y O provenientes de H₂O y CO₂ en el aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1%, con base en la masa seca (Welch, 1995. Rodríguez *et al.*, 2004). Los microelementos aceptados como esenciales son: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn. Estos elementos son tan importantes para la planta como los nutrientes primarios y secundarios, a pesar que son requeridos en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca (Welch, 1995. Y Rodríguez *et al.*, 2004).

2.2 Fósforo

El fósforo, después del nitrógeno, es el elemento más crítico para la producción agropecuaria; pero su disponibilidad es cada vez más limitada debido a la progresiva insuficiencia de sus fuentes naturales, su relativa escasez edáfica,

elevada retención por parte de la matriz del suelo, la falta de reposición natural y su baja movilidad comparada con la de otros nutrientes (Rubio, 2002; y Echeverri, 2018). Fernández *et al.*, (2005) reportan que, el fósforo es uno de los elementos químicos esenciales para la vida, forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), del ATP y de otras moléculas que tienen el ion fosfato (PO_4^{3-}) y que almacenan la energía química. Asimismo, Schleuss *et al.*, (2020) menciona que, el crecimiento de las plantas a menudo está co-limitado por el nitrógeno (N) y el fósforo (P), ya que las plantas pueden usar un elemento para adquirir otro (es decir, intercambiando N por P y P por N), lo que potencialmente explica las respuestas de crecimiento sinérgicas a la adición de N y P.

2.3 Funciones del fósforo en las plántulas

Este nutrimento desempeña un papel fundamental en la regulación de las respuestas fisiológicas y la mejora de la tolerancia al estrés abiótico en las plantas, como el calor, la salinidad, la sequía, el anegamiento, el alto nivel de CO_2 y la toxicidad de metales pesados (Hawkesford *et al.*, 2023; Lambers, 2022). Desempeña un papel crucial en varias etapas del proceso fotosintético, incluida la síntesis de ATP, la principal fuente de energía celular y la formación de ribulosa-1,5-bifosfato (RuBP), una molécula vital en el ciclo de Calvin (Carstensen *et al.*, 2018; Saengwilai *et al.*, 2023; Iqbal *et al.*, 2023). Además, es esencial para la síntesis y activación de enzimas implicadas en la adquisición y el transporte de nutrientes (Tariq *et al.*, 2023). Proporcionar P soluble a las plantas durante su ciclo de crecimiento es un enfoque comúnmente recomendado. Esto se puede lograr aplicando pentóxido de fósforo (P_2O_5) como fertilizante (Bindraban *et al.*, 2020).

2.4 Fósforo en el crecimiento de las plántulas

El P es un recurso no renovable obtenido de roca fosfórica, es uno de los macronutrientes vegetales esenciales más importante, debido a que permite que las plantas crezcan y se desarrollen al optimizar los procesos biológicos, genéticos y bioquímicos vitales en sus células (Munera y Meza, 2012). El P soluble es fácilmente absorbido por las raíces de las plantas y es utilizado para su crecimiento y desarrollo

(Fankem *et al.*, 2006). Las plantas toman el fósforo en forma de anión fosfato H_2PO_4 . En el interior de la planta el fósforo es muy móvil y constantemente está siendo reciclado desde las partes más viejas a las de nueva formación (Adams, *et al.*, 1994). Los sistemas radiculares más extensos pueden acceder a más P del suelo que los sistemas radiculares menos desarrollados. En la mayoría de las especies, la parte aérea de la planta crece más rápidamente que las raíces a inicios del ciclo, haciendo que el requerimiento diario de P por unidad de longitud de raíz (factor de ingreso de P) sea más alto a principios del ciclo de cultivo. Por esta razón, al inicio del cultivo, el suelo debe suplir P a la planta en cantidades mayores (Munera *et al.*, 20012).

2.5 Deficiencias del fósforo

La deficiencia de fósforo puede afectar en la conductancia estomática, que cuantifica la tasa de difusión del vapor de agua a través de las estomas. Numerosos factores, incluida la concentración de ácido abscísico (ABA), una hormona vegetal que promueve el cierre estomático, gobierna la conductancia estomática. La insuficiencia de fósforo puede elevar la concentración de ABA, provocando una conductancia estomática reducida y una mayor pérdida de agua a través de la transpiración (Zhang *et al.*, 2022; Iqbal *et al.*, 2023). También influye en la asignación de biomasa, con una caída de la biomasa aérea y un aumento de la biomasa de raíces (Wen, *et al.*, 2017).

La acumulación de biomasa y el desarrollo de las raíces debido al impacto en el presupuesto de carbono de la planta. El aumento inicial en la disponibilidad de carbohidratos para el crecimiento de las raíces es seguido por una disminución en el área foliar, lo que limita la interceptación de la luz y posteriormente reduce el crecimiento de las raíces (Mollier *et al.*, 1999). En las siguientes imágenes se presentan los síntomas de deficiencia típica de P en diferentes cultivos.



Imagen 1. Intagri, IPNI 2017. Síntomas comunes de deficiencia de fósforo en maíz, bordes de hojas púrpura. Síntomas comunes de deficiencia de fósforo en maíz, bordes de hojas púrpura. Las plantas han desarrollado mecanismos adaptativos para hacer frente a la deficiencia de P modificando la morfología y arquitectura de sus raíces, lo que mejora la eficiencia de la absorción de P. Cuando se enfrentan a condiciones bajas en P, las plantas exhiben una mayor producción de pelos radiculares más largos y un mayor crecimiento lateral de las raíces para mejorar la absorción de P (Zhang *et al.*, 2018). Y su deficiencia puede provocar desequilibrios de nutrientes y síntomas de toxicidad. La insuficiencia de P afecta la absorción de otros nutrientes como nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca) por las plantas, alterando su arquitectura, lo que lleva a cosas como una reducción del alargamiento del tallo y la producción de tallos más cortos y gruesos. (Tariq *et al.*, 2023). La deficiencia de P a largo plazo conduce a la acumulación de antocianinas, lo que indica cambios en los metabolitos secundarios (Misson, *et al.*, 2005). La deficiencia afecta negativamente la expansión de las hojas (Mollier, *et al.*, 1999). También afecta su morfología y la fotosíntesis (Verónica, *et al.*, 2017). Numerosos estudios han demostrado que la disponibilidad limitada de fósforo puede reducir la tasa fotosintética en las plantas, lo que resulta en una disminución de la fijación de carbono, el crecimiento y la productividad de las plantas (Carstensen *et al.*, 2018; Saengwilai, *et al.*, 2023; Iqbal, *et al.*, 2023).



Imagen 2. Intagri, IPNI 2017. Síntomas de deficiencia de fósforo en tallo y hojas de la planta de tomate. El color púrpura es característico de la deficiencia de este nutrimento.

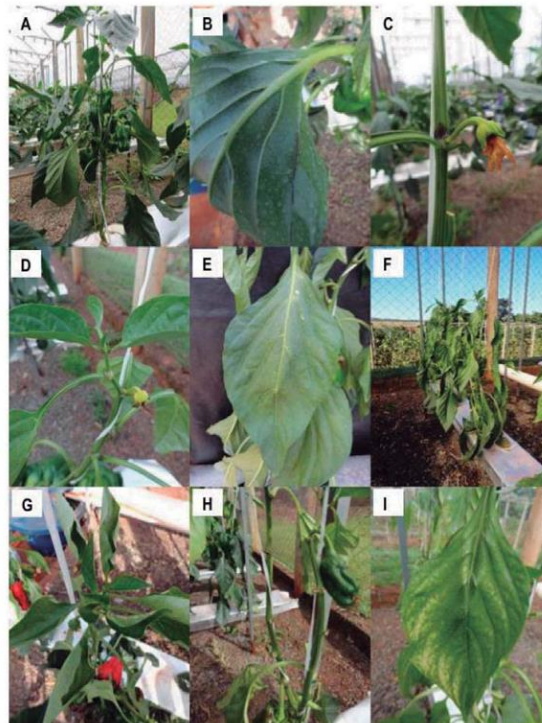


Imagen 3. Se muestran los síntomas de deficiencia de fósforo en el pimiento: (A) coloración verde oscura de las hojas; (B) coloración púrpura de las nervaduras; (C) caída de flores; (D) paralización del crecimiento apical; (E) clorosis de las hojas viejas; (F) aspecto general de las plantas a los 36 DDO; (G) enrollamiento de las hojas nuevas; (H) senescencia de las hojas viejas; (I) manchas cloróticas en el limbo foliar (Silva, et al.,2017).

2.6 Toxicidad del fósforo

La capacidad de los tejidos del tallo para almacenar P es limitada. Cuando la absorción de P excede la capacidad de almacenamiento de los tejidos, se desarrollan síntomas de toxicidad por P en la hoja (Parks *et al.*, 2000). El exceso de fósforo produce una maduración prematura, lo que disminuye el rendimiento de la planta el fósforo desempeña una función indispensable en el metabolismo energético (Quishpe, 2010). Los síntomas de la toxicidad por P en general son similares a los de otras especies e incluyen inhibición del crecimiento, senescencia temprana de las hojas y regiones cloróticas y/o necróticas en las hojas (Groves *et al.*, 1976).

2.7 Tipos de riego

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL *et al.*, 2019) y Aragón *et al.*,(2020), establecen que “la agricultura consume el 70 % de agua dulce del mundo”. El uso correcto del agua en los sistemas agrícolas es fundamental para mantener la productividad económica e hídrica. Aragón *et al.*, (2020), menciona que el uso eficiente del agua en los sistemas de riego tiene un efecto directo en la productividad del recurso hídrico y en la expresión favorable de los factores que intervienen en la producción de cultivos, combinado con la conservación de los recursos naturales. Medina *et al.*, (2024) comenta que los sistemas de riego tecnificados (aspersión y goteo) que por diseño permiten el ahorro de agua de hasta un 50 % y eficiencias de aplicación de hasta un 90%. Tipos de riego común tecnificado.

- Riego superficial o riego por gravedad
- Riego mecánico o riego a presión (presurizado)
- Riego subsuperficial
- Riego por goteo

2.7.1 Riego superficial

Ratnagar (1986) señala que, los sistemas de riego superficial, o riego por gravedad, son aquellos sistemas que, a diferencia de los sistemas presurizados, dependen únicamente de la gravedad para conducir, distribuir y aplicar agua sobre la superficie terrestre. El riego superficial contribuyó en gran medida al desarrollo de la ingeniería hidráulica (Viollet, 2007). La FAO (2022), reportan que, este tipo de riego ha permitido en algunos casos controlar las malas hierbas y en zonas montañosas han ayudado a prevenir la erosión del suelo, deslizamientos de tierra y a controlar las inundaciones en épocas de lluvias intensas.

2.7.2 Riego por capilaridad

Iriarte (2004), reporta que, el riego subsuperficial, básicamente implica el aprovechamiento por parte de la planta del agua que alcanza a las raíces por capilaridad, ya sea de una fuente natural o artificial. En general, esta categoría es poco conocida y desarrollada en la agricultura campesina bajo riego.

La capilaridad es el fenómeno debido a la tensión superficial que confiere a los fluidos la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar. Mientras mayor es el diámetro del capilar menor es la altura a alcanzar por el fluido. La capilaridad es la capacidad que tiene el agua de ascender por pequeños canales o canalículos capilares formados por orificios intersticiales del suelo (Müller, 2012).

La capilaridad consiste en que el sustrato tiene la capacidad de adsorber y distribuir en todas las direcciones la solución nutritiva a través de los microporos. Cuando el sustrato tiene baja capilaridad, la solución nutritiva se mueve verticalmente a través del perfil del mismo, drena rápidamente, dejando zonas secas en las cuales no se puede desarrollar las raíces (Andreau *et al.*, 2015).

Cuando el sustrato tiene una buena capilaridad, el agua es adsorbida en todas direcciones, haciendo que las raíces de las plantas encuentren una humedad homogénea en todo el recipiente. La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada

(Núñez, 2015). Esto resulta en una mejor aireación por la capilaridad de los poros del suelo, que a su vez estimula el crecimiento del sistema radicular de las plantas y aumenta la actividad microbiana del suelo (Moore., 2004).

2.8 Historia y origen del chile pimiento

Capsicum es un género de la familia de las solanáceas (Solanaceae) que comprende más de 35 especies (Barboza, *et al.*,2019). Cinco especies (*C. annum* var. *annuum*, *C. chinense*, *C. baccatum*, *C. frutescens* y *C. pubescens*) fueron domesticadas de forma independiente en América Central y del Sur y hoy se cultivan en climas templados y subtropicales de todo el mundo (Pickersgill, 2018). En este sentido, España es considerada un centro secundario de diversidad de pimiento, especialmente de *C. annum* que fue traído principalmente desde México justo después del descubrimiento de América (Crosby, 2008). Los frutos del pimiento ('vainas') muestran una gran diversidad de formas, colores y sabores, por lo que existen diferentes tipos de mercado, cultivados específicamente para consumo fresco (pimientos dulces), procesamiento fresco (por ejemplo, salsa, pasta), especias secas (Velázquez *et al.*,2019). *Capsicum annum* L. es la especie de más extendida y económicamente importante en todo el mundo, así como la más utilizada en programas de mejoramiento de cultivares comerciales (Bosland y Votava, 2012). El mejoramiento por hibridación permite la combinación de rasgos heredados predominantemente, incluida la resistencia a enfermedades y rasgos agronómicos (Zhao *et al.*, 2015).

En México, el cultivo de chile es una especie hortícola de gran importancia por el valor de su producción. Se cultiva en todos los estados de la República Mexicana, desde el nivel del mar, hasta los 2500 m de altura, La importancia de este cultivo reside en el hecho que, al ser un cultivo intensivo, requiere una elevada cantidad de mano de obra, de 120 a 200 jornales por hectárea cosechada, aproximadamente (Arroyo, 2012). La superficie mundial sembrada de chile asciende a 1.7 millones de hectáreas y una producción de 29,939,029 toneladas (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013).

2.9 Principales países productores de chile

En el ámbito mundial los principales importadores de chile verde en ese año, entre los que se encuentran algunos de los principales de México, fueron: Estados Unidos con 779,393 toneladas, Alemania con 351,622 toneladas y el Reino Unido con 157,134 toneladas, seguido de Francia, Países Bajos, Canadá y la Federación de Rusia (FAOSTAT, 2012 y Encalada *et al.*, 2014). Las exportaciones mexicanas de chiles y pimientos a Estados Unidos representaron más de 628 millones de dólares en 2011, 57% procedente de invernadero (United States Department of Agriculture, 2012 y Encalada *et al.*, 2014).

Estados Unidos compra a México 98.9% de morrón, 81.2% de ancho o Anaheim seco y 92.1% de los preparados. En tanto que casi la totalidad de estos productos que se exportan a Reino Unido, Japón y Alemania son de conserva (Inforural, 2010 y Encalada *et al.*, 2014).

2.10 Principales estados productores de chile en México

Aguirre-Hernández *et al.*, (2015) y Vargas *et al.*, (2018). Mencionan que, Sinaloa, Sonora y Baja California, se especializan en Pimiento, Anaheim, Jalapeños y Caribes, principalmente para exportación. En cuanto al nivel tecnológico, este es mayor en la zona Pacífico Norte, zona Norte y zona de El Bajío.

En la producción nacional del chile verde destacan los estados de Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas y San Luis Potosí, como los de mayor participación en el volumen total de 577, 301, 291 y 171 miles de toneladas, respectivamente, en 2011. Los cuatro estados en conjunto aportaron más de la mitad de la producción nacional de chile verde en ese año, con un porcentaje de participación de 62.9 % (SAGARPA, 2012 y Encalada *et al.*, 2014).

De las variedades de chiles verdes producidas en el país en 2011 destaca el chile jalapeño con 699 mil 657 toneladas, una participación de 32.8% en el país; que, junto con otras tres variedades: poblano (10.0%), serrano (8.6%) y bell pepper

(6.4%), aportaron 57.8% de la producción nacional de ese mismo año (SAGARPA, 2012 y Encalada *et al.*, 2014).

2.11 Producción y calidad de plántula

Guzmán y Sánchez (2003); Tuzel y Oztekin (2017); y Acevedo-Alcalá *et al.*, (2020), mencionan que la producción de plántula de buena calidad es importante para los productores de diversas hortalizas o viveristas, pues esto mejora el establecimiento del cultivo en campo. Entre los factores que determinan la producción de plántulas de buena calidad están el mantener un estado nutricional apropiado por medio de la fertilización, proporcionar niveles adecuados de humedad a través del riego y mantener la sanidad mediante el control de plagas y prevención de enfermedades. Así mismo (Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020), dice que la producción de plántula de buena calidad depende en buena medida del tipo de sustrato utilizado, de la proporción en que se mezclen sus componentes, del tipo y dosis de fertilización aplicada y del aporte nutricional de cada componente para el desarrollo inicial de la plántula. La fertilización química que utilizó este autor fue (0.5, 1.0 y 1.5 g L⁻¹ de la fórmula 20N-18P-20K) para producir plántula de chile (*Capsicum annuum* L.) Poblano. Para determinar la calidad de las plántulas se registraron variables como el índice de esbeltez y de calidad de Dickson, la relación del peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, entre otras. La aplicación de fertilizante químico a una concentración de 1.0 g L⁻¹ de la fórmula 20-18-20 favoreció la obtención de plántulas de buena calidad. El P ayuda a que las raíces y la plántula se desarrollen más rápidamente, mejora la eficiencia del uso del agua, mejora la resistencia a enfermedades en algunos cultivos, acelera la maduración y es vital en la formación de la semilla. Todos estos son factores importantes en el rendimiento y en la calidad del cultivo (Roberts, 1997).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en primavera-verano del 2023, en el área de los invernaderos del Departamento de Horticultura, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizada en la Calzada Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Con coordenadas 25° 21' 5" latitud norte, 101° 1' 52" longitud oeste y una altitud de 1742 msnm.

3.2 Material vegetal

Se utilizó semilla de chile pimiento de la variedad California Wonder se caracteriza por la forma de su fruto acorazonado o trompo, de tamaño medio (10 cm de largo), de color verde (inmaduro) a rojo intenso (maduro), con un pericarpio grueso y dulce.

3.3 Preparación de bandejas para riego

Primero se midió el área para determinar el espacio donde iban estar las charolas germinadoras, ya obtenido los datos se colocaron las estructuras de madera cubiertas con un plástico, las medidas fueron de 90 cm largo, 50 cm de ancho y 12 cm de alto.

3.4 Sustrato

El sustrato utilizado fue mezcla de perlita con un 15 % y Peat moss un 85 % (v/v), esta mezcla fue homogenizada y posteriormente se procedió al llenado de las charolas para después colocar una semilla por cavidad.

3.5 Siembra en la charola

La semilla de chile pimiento se sembró el día 28 de agosto en las charolas germinadoras con 200 cavidades, las cuales se colocaron 150 semillas por charola germinadora colocando dos semillas por cavidad.

3.6 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones 0.7, 1.0, 1.3 y 1.6 meq·L⁻¹ y dos formas de riego (normal y por capilaridad), dando un total de 8 tratamientos.

3.7 Diseño experimental

El diseño utilizado fue completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 4. Con tres repeticiones cada tratamiento, con un total de 45 plántulas por tratamiento, en total se evaluó 240 plántulas.

3.8.1 Riego

El primer riego se realizó a los 21 días después de la siembra de las semillas chile pimiento. En el riego por capilaridad en cada estructura se le agregaban 20 litros de soluciones en función de cada concentración de P, aunque este volumen de agua dependió de las temperaturas que se presentaran, cada tratamiento (soluciones) se almacenaron en contenedores de 50 litros.

3.8.2 Control de plagas y enfermedades

Durante el experimento se tuvo de incidencia de mosquita blanca, trips y pulgón. Las cuales fueron controladas con la aplicación de insecticidas específicos para cada insecto plaga.

3.9 Variables Evaluadas

3.9.1 Altura de la planta (cm)

Para determinar la altura de la plántula se procedió a tomar los datos de cada plántula y se utilizó una regla de 30 cm.

3.9.2 Diámetro de tallo (mm)

Para determinar el diámetro basal del tallo se ocupó un Vernier.

3.9.3 Longitud de raíz (cm)

Una vez separada la raíz de la plántula se limpió en un bote con agua para quitar el exceso de sustrato y después se midió con una regla de 30 cm.

3.9.4 Volumen de raíz (ml)

Para determinar el volumen de raíz, se usó una probeta de 50 ml la cual se le agregó 40 ml de agua, para posteriormente se sumergió la raíz dentro de la probeta, finalmente el agua que se desplazó se consideró el volumen de raíz (ml).

3.9.5 Peso seco de raíz (g)

Se colocaron las raíces de las plántulas de cada repetición en una bolsa de papel estraza, para llevarlas a una estufa de secado a una temperatura de 65° por 72 horas aproximadamente, para después tomar los datos con una báscula.

3.9.6 Peso seco aéreo (tallos y hojas) (g)

Estos órganos se colocaron en una bolsa de papel estraza las cuales fueron introducidos a una estufa de secado a una temperatura de 65° por 72 horas y finalmente se registró los datos con una báscula.

3.9.10 Peso seco total de la planta (g)

Para llegar a la obtención de estos datos se realizó de una suma aritmética de órganos de la plántula se obtuvo el peso seco total.

3.9.11 Índice de contenido relativo de clorofila (ICRC)

Este parámetro se determinó con equipo portátil SPAD502 Plus marca Konica Minolta.

3.9.12 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza ANVA y pruebas múltiples de comparación de medias de Tukey con nivel de significancia $P \leq 0.05$, mediante el software estadístico SAS v. 9.0.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La forma de riego y la concentración de fósforo (P) en la solución nutritiva influyeron en el crecimiento radicular y de la parte aérea de las plántulas de pimiento. El diámetro tallo (DT) y el volumen de la raíz (LR) fueron afectados significativamente por el tipo de riego aplicado. La longitud de raíz (LR) y altura de plántula (AP) no presentan diferencias significativas (Cuadro 1). La LR, AP y DT fueron influenciados significativamente por las concentraciones de P en las soluciones nutritivas, mientras que, el VR no presentó diferencia significativa (Cuadro 1). La interacción entre la forma de riego y de la concentración de P tuvieron efectos significativos en la mayoría de las variables, a excepción de VR.

Las plántulas que fueron irrigadas de manera normal presentaron mayor VR y DT en comparación las irrigadas por capilaridad. La altura de la plántula se incrementó con la aplicación de 1.6 meq L^{-1} de P, comparando con las plántulas que recibieron concentraciones inferiores de este nutrimento. El máximo DT de las plántulas se obtuvieron a ser nutridas a una concentración de 1.3 meq L^{-1} de P. Asimismo, la mayor LR se presentó con la ampliación de soluciones que contenían 1.0 meq L^{-1} de P (Cuadro 1). Ahmed *et al.*, (2000) señalan que, las plántulas de lechuga sub-irrigadas fueron significativamente más altas mientras que aquellas lechugas irrigadas por aspersión tuvieron un mayor peso seco y mayor cantidad y tamaño de hojas.

Cuadro 1. Efecto de concentración de fósforo y forma de riego en longitud de raíz, volumen de raíz altura y diámetro de tallo de la planta var. California Wonder.

Forma de riego	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (ml)	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Normal	7.900a	10.675a	14.450a	2.962a
Capilaridad	7.774a	8.071b	14.289a	2.723b
ANVA $P \leq$	0.152	0.001	0.141	0.030
Concentración de P (meq L⁻¹)				
0.7	7.507b	9.975a	13.950bc	2.7833b
1.0	8.378a	8.917a	13.883c	2.4883c
1.3	7.471b	8.433a	14.553ab	3.100a
1.6	7.992ab	10.167a	15.092a	3.00ab
ANVA $P \leq$	0.004	0.109	0.002	0.001
Interacción $P \leq$	0.032	0.117	0.01	0.023
CV	4.988	13.981	2.612	6.031

>0.05 No significativo, ≤ 0.05 , 0.01 y 0.001 Significativo. P= fósforo, ANVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, Interacción= forma de riego x concentración de P.

Los pesos secos de los diferentes órganos (raíz, tallo y hoja) de las plántulas fueron afectadas significativamente por la forma de riego mientras que, en el índice de contenido relativo de clorofila (ICRC) no se observó diferencias significativas. Los niveles (concentraciones) de P afectaron significativamente todas las variables antes mencionadas. El efecto de la interacción entre forma de riego y concentraciones de P fueron similares a lo anterior, a excepción en el peso seco total (PSTo) pues, no fue aceptado significativamente (Cuadro 2).

El mayor peso seco de raíz (PSR), de tallo (PST), de hoja (PSH) y peso seco total (PSTo) se obtuvo en plántulas que fueron irrigadas con riego normal. El PSR, PST, PSTo y ICRC se incrementaron en plántulas nutridas con soluciones que contenían 1.3 meq L⁻¹ de fósforo, pero, el mayor PSH se presentó con 0.7 meq L⁻¹ de fósforo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de concentración de fósforo y de la forma de riego en el peso seco de los diferentes órganos y del índice de contenido relativo de clorofila (ICRC) de las plántulas de chile pimienta var. California Wonder.

Forma de riego	Peso seco de raíz (g)	Peso se dé tallo (g)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco total (g)	ICRC (Unidad SPAD)
Normal	0.112a	0.058a	0.054a	0.221a	43.745a
Capilaridad	0.110a	0.054b	0.049b	0.213b	40.813a
ANVA P≤	0.001	0.0001	0.0001	0.001	0.807
Concentración de P (meq L ⁻¹)					
0.7	0.105b	0.051c	0.058a	0.216b	44.021b
1.0	0.085c	0.049c	0.048b	0.178c	38.153d
1.3	0.143a	0.066a	0.049b	0.258a	45.583a
1.6	0.112b	0.057b	0.050b	0.216b	41.357c
ANVA P≤	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001
Interacción P≤	0.05	0.001	0.001	0.312	0.001
CV	8.66	4.68	7.70	5.21	2.13

>0.05 No significativo, ≤0.05, 0.01 y 0.001 Significativo. P= fósforo, ANVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, Interacción= forma de riego x concentración de P.

Las plántulas que fueron irrigadas de forma normal y nutridas con 1.6 meq L⁻¹ de P registraron mayor volumen de raíz (Figura 1). Pero, en el riego por capilaridad y con

la concentración 0.7 meq L⁻¹ de fósforo se presentaron un aumento en el volumen de raíz (Figura 1), en general, las plántulas irrigadas de forma normal se obtuvieron mayor VR independientemente de la concentración de P suministrado. La mayor longitud de raíz se registró en las plántulas sometidas a riego por capilaridad y con la concentración de 1.0 meq L⁻¹ de P. Asimismo, en el riego normal con la concentración de 1.6 meq L⁻¹ de P se obtuvo mayor longitud de raíz (Figura 2). Munera y Meza (2012) menciona que, el fósforo es esencial para el desarrollo de las raíces de las plantas. Asimismo, He *et al.*, (2019) señalan que, la ampliación fósforo incrementa la longitud y la superficie de la raíz en plantas de Soja. López-Bucio *et al.*, (2003) y Jin y Wang *et al.*, (2005) indican que, el P juega un papel importante en la morfología de las raíces laterales y la ramificación de las raíces e influye no solo en el desarrollo de las raíces, sino también en la accesibilidad de nutrientes. Finalmente, el suministro adecuado u óptimo de P mejora la longitud y área de superficie total de la raíz, volumen total de la raíz y número de las raíces en arroz (Liu, Gao y Zhao, 2024).

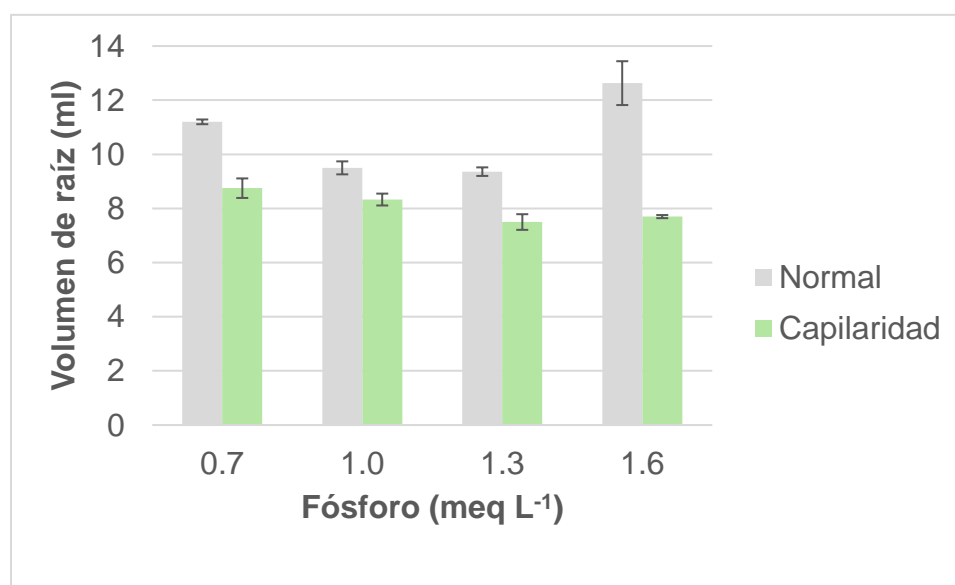


Figura 1. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en volumen raíz de plántula de chile pimienta califonia wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

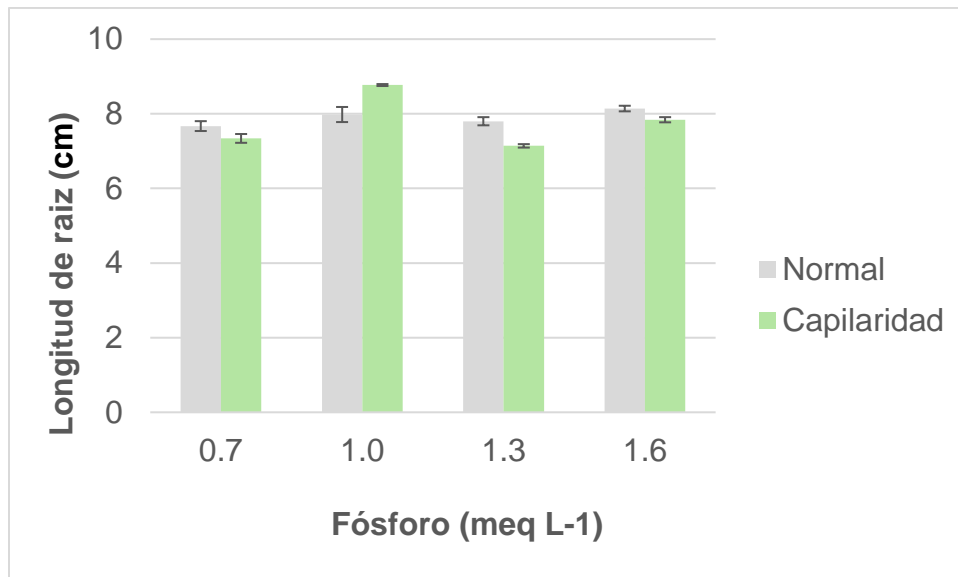


Figura 2. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en la longitud de raíz de plántula de chile pimentero californiano wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

El mayor diámetro de tallo se presentó en plántulas que recibieron riego por capilaridad y con 1.3 meq L⁻¹ de fósforo, pero, con 0.7 y 1.6 meq L⁻¹ de fósforo y al ser irrigadas de manera normal presentan efectos similares. En general cualquier dosis de P con riego normal registran mayor diámetro con respecto a las plántulas con riego por capilaridad (Figura 3). La plántula con mayor altura se presentó en aquellas que recibieron riego por capilaridad y con 1.6 meq L⁻¹ de fósforo, no obstante, el suministro de 1.3 y 1.6 meq L⁻¹ de fósforo y con riego normal registraron un crecimiento similar que el anterior (Figura 4). Esto indica que el riego por capilaridad requiere mayor suministro de P. Caballero (2020) menciona que, observaron diferencias significativas en la altura de la parte aérea del arroz de la variedad Perla de Cuba con 15 ppm de fósforo, esta concentración es menor de lo obtenido de esta investigación. Por su parte, Razaq (2017) señala que, en plántulas de Acer mono Maxim L., tratadas con fertilizante a base de P exhibieron mayor altura de planta y un diámetro de cuello de raíz que el control (0.0 g P), siendo el valor más alto en ambos parámetros con 8 g P.

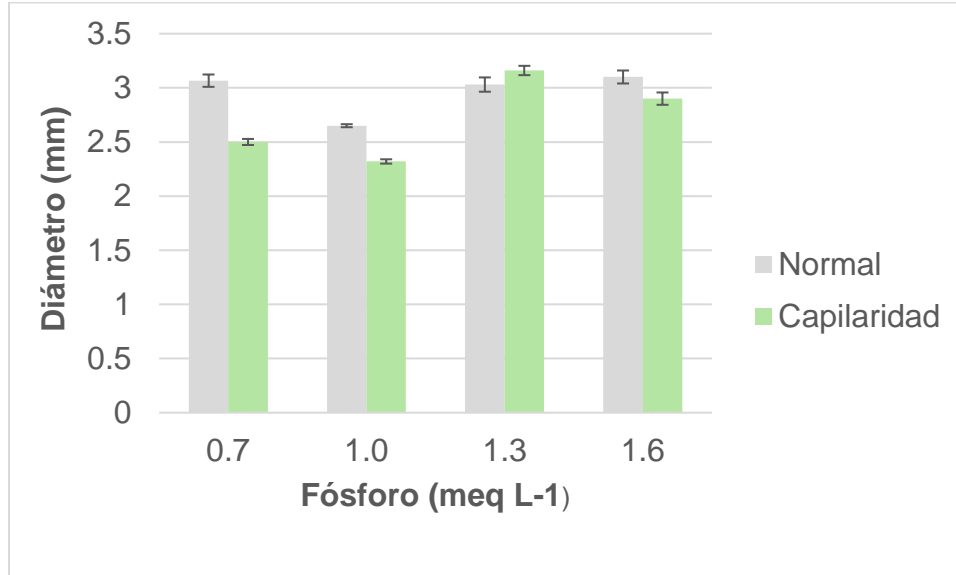


Figura 3. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en el diámetro de plántula de chile pimienta california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

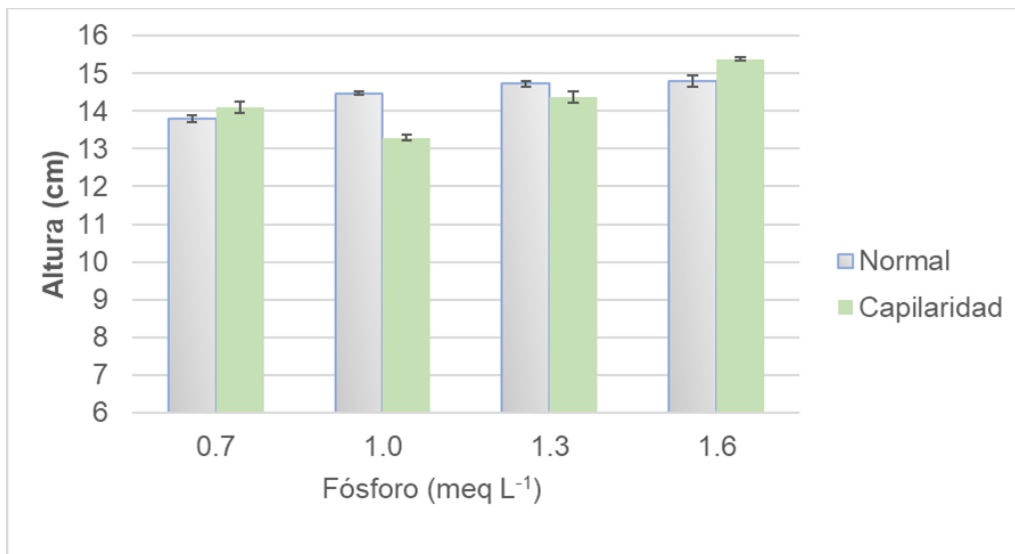


Figura 4. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en la altura de plántula de chile pimienta california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

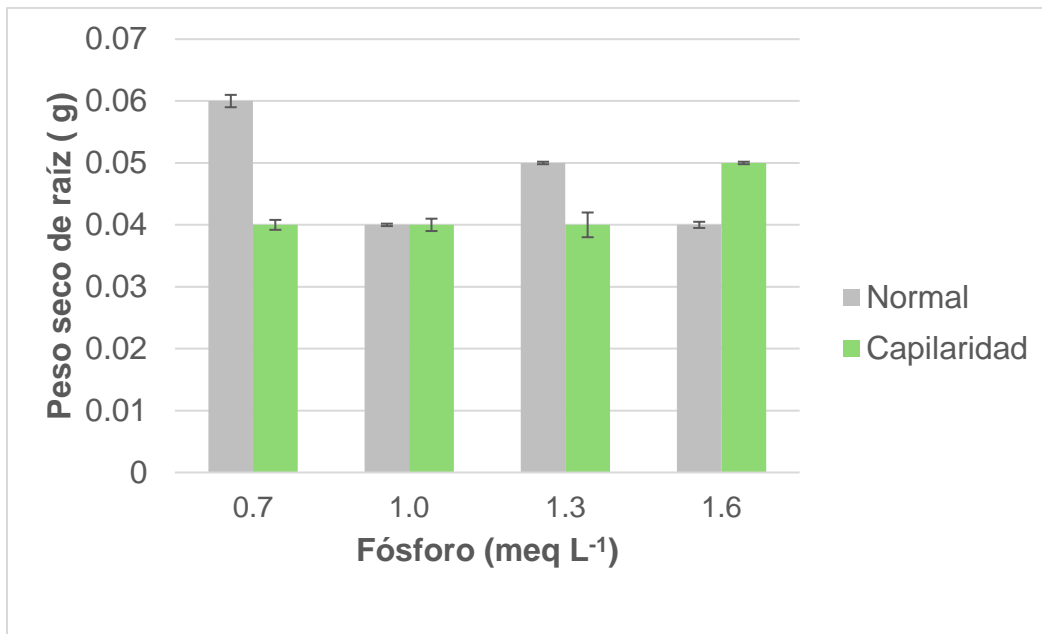


Figura 5. Efecto de la interacción entre fosforo y forma de riego en peso seco de raíz de plántula de chile pimiento california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

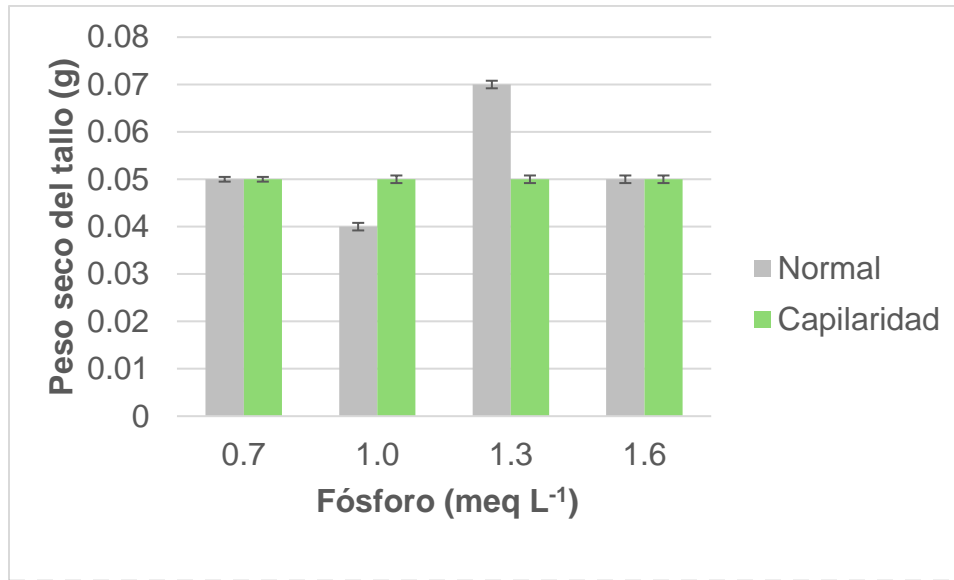


Figura 6. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en peso seco del tallo de plántula de chile pimiento california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

El mayor incremento en materia seca de la hoja fue en función del tipo de riego, la más eficiente fue riego por capilaridad con 1.3 meq L⁻¹ de P, similar efecto se presentó con esta misma concentración de P pero con riego normal (Figura 7). Díaz *et al.*, (2016) mencionan que, la aplicación de fósforo en determinados cultivos conduce a un aumento significativo en la materia seca, superando los valores del control. Por su parte, Neocleous y Savvas (2019) reportan que, el suministro de fósforo (0.8, 1.3 y 1.8 mM) en dos tipos de lechuga de hoja verde (*Lactuca sativa* L), el rendimiento de biomasa se redujo en un 15 % con la aplicación de 0.8 mM de P en ambos tipos de lechuga.

La mayor acumulación de peso seco total de las plántulas se registró a una concentración de 1.3 meq L⁻¹ de fósforo, independientemente de la forma de riego (Figura 8). Li y Wang (2010) indican que, la biomasa seca total, el área foliar y las concentraciones de P, Ca y Mg en las hojas de apio aumentaron significativamente al suministrar de 0 a 124 mg L⁻¹ de P. Por otra parte, en diferentes variedades de soja se incrementa la biomasa seca con el incremento de la concentración de P,

principalmente con 15 g por maceta, mismo que, el aumento de la biomasa seca es ta relacionada con el incremento de P en tejido vegetal (Kakiuchi y Kamiji, 2015).

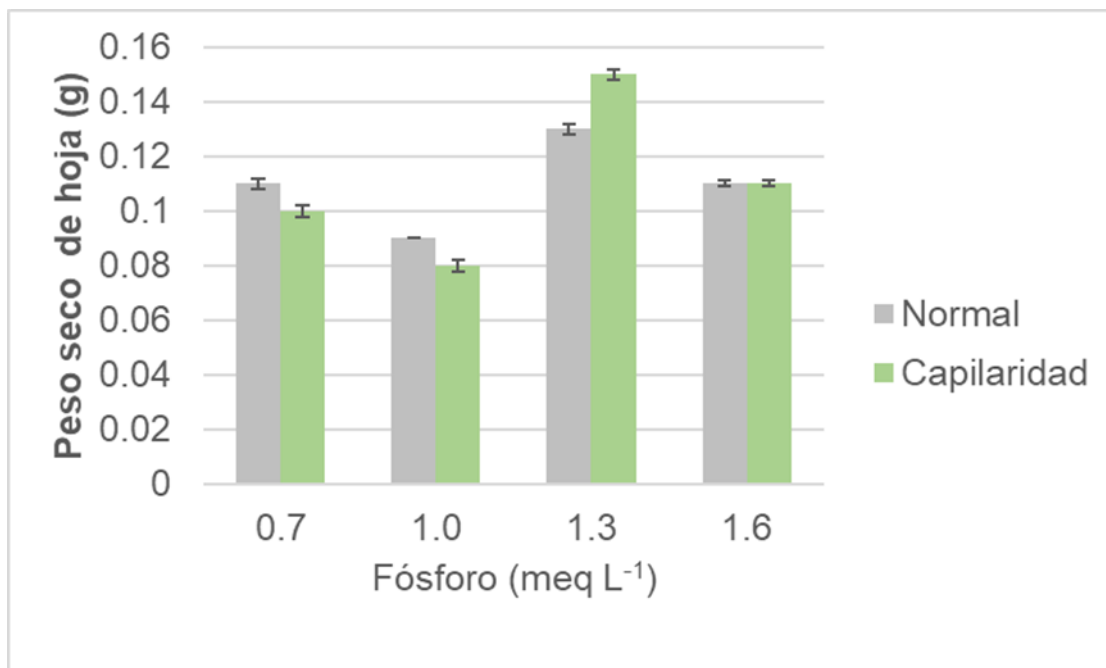


Figura 7. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en peso seco de la hoja de plántula de chile pimiento california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

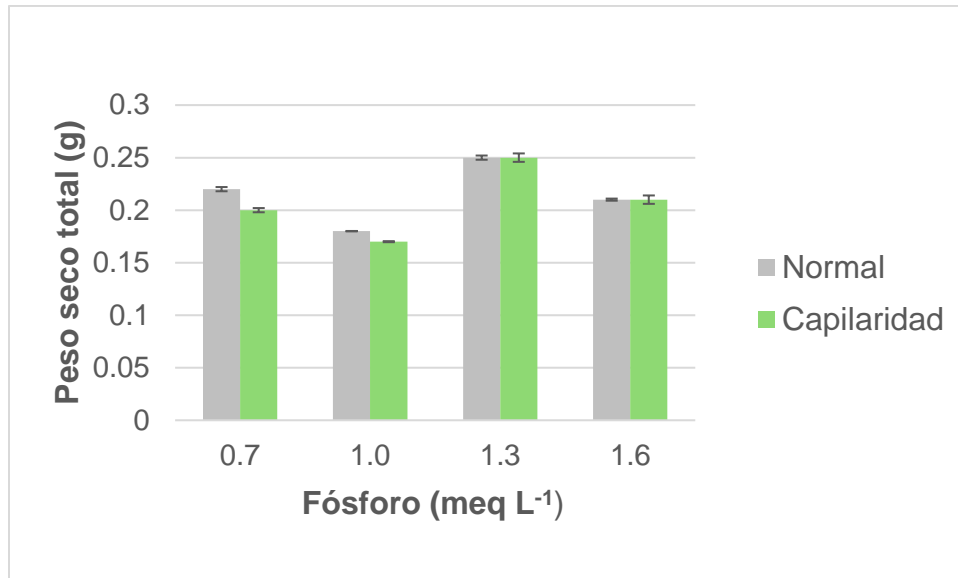


Figura 8. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en peso seco total de plántula de chile pimienta california wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

El mayor índice de clorofila obtuvo en aquellas plántulas que recibieron riego normal con 0.7 y 1.3 meq L⁻¹ de P. Aquellas plántulas que fueron irrigadas por capilaridad con una concentración de 1.3 meq L⁻¹ de P, registran efectos similares (Figura 9). Mejjouy *et al.*, (2022) menciona que, el aumento del suministro de fósforo de 28 a 68 ppm permitió aumentar el índice de contenido de clorofila en un 37%. La clorofila es un pigmento de color verde importante para la fotosíntesis en las plantas, permite captar energía y lo transforma en compuestos orgánicos y oxígeno (Pacheco y Rodríguez, 2020).

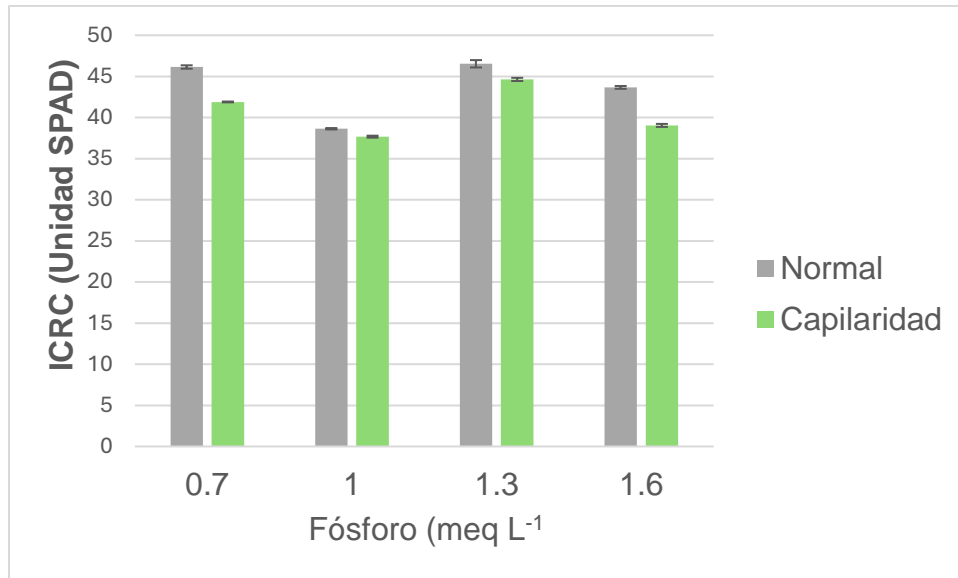


Figura 9. Efecto de la interacción entre fósforo y forma de riego en la clorofila de plántula de chile pimienta californiana wonder las barras indican el error estándar de los tratamientos.

V.CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que tanto el tipo de riego como las concentraciones de fósforo tienen un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

El riego normal resultó ser más efectivo promoviendo mayor peso seco de la hoja, altura de plántula, diámetro del tallo y longitud de la raíz. La concentración de 1.3 meq L⁻¹ de fósforo favoreció el peso seco de raíz, tallo, peso seco total y el índice de contenido relativo de clorofila. Con concentración de 1.3 meq L⁻¹ de fósforo se aumentó la biomasa seca total, independientemente de la forma de riego.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo-Alcalá, P., Cruz-Hernández, J., y Taboada-Gaytán, O. R. (2020). Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 35-44.
- Adams, C. R., Bamford, K. M., y Early, M. P. (1994). *Principios de Hortofrutícola*. Editorial AGRIBA S. A. pp. 211-212. Zaragoza, España.
- Aguirre-Hernández, E. y Muñoz-Ocotero, V. 2015. Agenda Técnica Agrícola de Campeche Segunda edición. © Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. El chile como alimento. Ciencia, julio-septiembre 16- 23.
- Andreau, R., Giménez, D., y Beltrano, J. (2015). *Cultivo en hidroponía* (1ra ed.). Universidad Nacional de La Plata.
- Aragón, A. N. O., y González, R. C. L. (2020). Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión. *La Calera*, 20(35), 81-87.
- Arroyo-Vargas, L. (2012). *Normas preliminares de diagnóstico nutrimental compuesto y correlaciones nutrimentales en pimiento (Capsicum annuum L.)* (Tesis de maestría). Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo.
- Bafoev, A. X., Rajabboev, A. I., Niyozov, S. A., Bakhshilloev, N. K., and Mahmudov, R. A. (2022). Significance and classification of mineral fertilizers. *Texas Journal of Engineering and Technology*, 5, 1-5.
- Barboza, G. E., García, C. C., González, S. L., Scaldaferrro, M., y Reyes, X. (2019). Cuatro nuevas especies de *Capsicum* (Solanaceae) de los Andes tropicales y una actualización sobre la filogenia del género. *MÁS UNO*, 14, e0209792.
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., and Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 299–317.

- Bosland, P. W., Votava, E. J., y Votava, E. M. (2012). *Pimientos: Pimientos vegetales y especiados* (Vol. 22). CABI.
- CABALLERO, C. B. Tesis de Diploma Licenciado en Biología 2020.
- Carstensen, A., Herdean, A., Schmidt, S. B., Sharma, A., Spetea, C., Pribil, M., and Husted, S. (2018). The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. *Plant Physiology*, 177, 271–284.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2019). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*.
- Condés Rodríguez L. F. (2017). Pimiento, en: *cultivos hortícolas al aire libre* (Maroto B. JV y Baixauli S.C. Eds, Serie Agricultura España, [13], 471-507. <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/agricultura/cultivos-hortícolas-al-aire-libre-2.pdf>
- Crosby, K. M. (2008). En J. Prohens, F. Nuez, y M. J. Carena (Eds.), *Verduras II* (pp. 221–248). Saltador A, NOSOTROS.
- Echeverri, J. (2018). *Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales* (Monografía). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/71606/2/39456768.2018.pdf>
- Encalada, M. C., Morales, C. L., y Santana, J. R. (2014). Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Revista de Economía, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán*, 31(83), 96-96.
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, L., Merbach, W., and Etoa, F. X. (2006). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, 5(24).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *The state of the world's land*.
- FAOSTAT. (2011/2012). *Módulo comercio*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>

- Fernández, M. T., y Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(3), 27-34.
- Groves, R. H., and Keraitis, K. (1976). Survival of seedlings of three sclerophyll species at high levels of phosphorus and nitrogen. *Australian Journal of Botany*, 24, 681–690.
- Guzmán, M., and Sánchez, A. (2003). Influence of nitrate and calcium increments on development, growth and early yield in sweet pepper plants. *Acta Horticulturae*, 609, 207–211. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.609.29>
- Hawkesford, M. J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L. J., Lambers, H., Schjoerring, J. K., and White, P. J. (2023). Functions of macronutrients. En *Marschner's mineral nutrition of plants* (pp. 201–281). Academic Press.
- Inforural. (2010). *México: Primer lugar mundial en producción de chile verde y sexto en la de chile seco*. Recuperado de <https://www.inforural.com.mx/mexico-primer-lugar-mundial-en-produccion-de-chile-verde-y-sexto-en-la-de-chile-seco>
- INTAGRI. (2017). *Síntomas visuales de deficiencia de fósforo en los cultivos* (Serie Nutrición Vegetal Núm. 103). Artículos Técnicos de INTAGRI. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sintomas-visuales-de-deficiencia-de-fosforo-en-los-cultivos> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.
- Iqbal, A., Huiping, G., Qiang, D., Xiangru, W., Hengheng, Z., Xiling, Z., and Meizhen, S. (2023). Differential responses of contrasting low phosphorus tolerant cotton genotypes under low phosphorus and drought stress. *BMC Plant Biology*, 23, 168. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-03912-4>
- Iqbal, A., Qiang, D., Xiangru, W., Huiping, G., Hengheng, Z., Xiling, Z., and Meizhen, S. (2023). Genotypic variation in cotton genotypes for low phosphorus tolerance and efficiency under different growth conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00663-1>

- Iriarte, M. O. D. (2004). Algunos apuntes conceptuales sobre los métodos y tipos de riego campesino y su relación con el diseño de sistemas de riego. *Vol. 2*, 2000-2020.
- Lambers, H. (2022). Phosphorus acquisition and utilization in plants. *Annual Review of Plant Biology*, *73*, 17–42. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-041520-084439>
- López-Bravo, E., Placeres-Remior, A., Carbonell-Saavedra, E., Martínez-Rodríguez, A., y González Cueto, O. (2023). Variabilidad de factores agroclimáticos y gasto de riego en cultivo protegido del pimiento (*Capsicum annuum*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *32*(4).
- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A., y Herrera-Estella, L. (2003). El papel de la disponibilidad de nutrientes en la regulación de la arquitectura radicular. *Current Opinion in Plant Biology*, *6*(3), 280–287. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00045-6)
- Macias-Rodriguez, H., Muñoz-Villalobos, J. A., Velásquez-Valle, M. A., Potisek-Talavera, M. C., y Villa-Castorena, M. M. (2013). Chile habanero: Descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *12*, 37–43.
- Marti, H. R., and Mills, H. A. (1991). Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. *Journal of Plant Nutrition*, *14*(11), 1165–1175.
- Medina, M. S. L., Ramirez, E. N., Morán, H. M. R., Ramírez, Y. D. R. M., Rodríguez, M. R., y Martínez, T. D. J. S. (2024). La importancia de los sistemas de riego para el uso eficiente del agua en la agricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *8*(4), 3507–3525.
- Misson, J., Raghothama, K. G., Jain, A., Jouhet, J., Block, M. A., Bligny, R., Ortet, P., Creff, A., Somerville, S., Rolland, N., et al. (2005). A genome-wide transcriptional analysis using *Arabidopsis thaliana* Affymetrix gene chips determined plant responses to phosphate deprivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*, 11934–11939.

- Mollier, A., and Pellerin, S. (1999). Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany*, 50, 487–497.
- Moore, K. K. (2004). Using seaweed compost to grow bedding plants. *BioCycle*, 45, 43–44.
- Müller, H. (2012). Ascenso capilar de agua en el suelo, pieza clave en la buena germinación de semillas. *Revista Cooprinforma*, 114, noviembre/diciembre 2012.
- Munera, G., y Meza, D. (2012). *El fósforo: Elemento indispensable para la vida vegetal* (Manual). Universidad Tecnológica de Pereira.
- Neocleous, D., and Savvas, D. (2019). The effects of phosphorus supply limitation on photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and mineral nutrition in lettuce grown in a recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 252, 379–387.
- Núñez, L. A. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. DGIAR.
- Parks, S. E., Haigh, A. M., and Cresswell, G. C. (2000). Stem tissue phosphorus as an index of the phosphorus status of *Banksia ericifolia* L. f. *Plant and Soil*, 227, 59–65.
- Pickersgill, B. (2018). Evolución paralela versus convergente en la domesticación y diversificación de cultivos en las Américas. *Frente Ecológico Evolución*, 6, 56.
- Quisphe Chimborazo, M. G. (2010). *Determinación de la influencia de fertilización foliar como complemento a la fertilización edafológica en la producción de fréjol arbustivo variedad INIAP-414 Yunguilla en el Cantón Paute* (Tesis de licenciatura).
- Ratnagar, S. (1986). An aspect of Harappan agricultural production. *Studies in History*, 2(2), 137–153.
- Razaq, M., Zhang, P., Shen, H. L., and Salahuddin. (2017). Influence of nitrogen and phosphorus on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PLOS ONE*, 12(2), e0171321.
- Roberts, T. (1997). Papel del fósforo y potasio en el establecimiento de los cultivos. *INPOFOS-Informaciones Agronómicas*, (26), 1-4.

- Rodríguez, M., & Florez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos.
- Rubio, G. (2002). Conectando el fósforo del suelo con la planta. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 16, 19-23
- Saengwilai, P. J., Bootti, P., and Klinnawee, L. (2023). Responses of rubber tree seedlings (*Hevea brasiliensis*) to phosphorus deficient soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 69, 78–87.
- SAGARPA. (2012). Sistema de información agroalimentaria y pesquera. <https://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Silva, A. Z., Anderson, F. W., Nowaki, R. H., Cecílio Filho, A. B., y Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia (Uruguay)*, 21(2), 31-43.
- Tariq, A., Zeng, F., Graciano, C., Ullah, A., Sadia, S., Ahmed, Z., Murtaza, G., Ismoilov, K., and Zhang, Z. (2023). Regulation of metabolites by nutrients in plants. *Plant Ionomics*, 1–18.
- Tuzel, Y., and Öztekin, G. B. (2017). Organic seedling production. *Acta Horticulturae*, 1170, 1141-1148. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1170.147>
- United States Department of Agriculture. (2012). *Foreign Agricultural Service. Standard query*. <https://www.fas.usda.gov/gats/ExpressQuery1.aspx>
- Vargas, R., & Aremmy, B. (2018). *Aplicación del modelo simplificado para estimar dosis de fertilización fosforada en el cultivo de chile habanero (Capsicum chinense Jacq)* (Master's thesis).
- Velázquez, R., et al. (2019). Efecto de la densidad de plantas y el tipo de cosecha sobre el rendimiento y la calidad de pimientos y pimentón frescos y secos. *Journal of Ciencias Agricultura Alimentaria*, 99, 400–408.
- Veronica, N., Subrahmanyam, D., Vishnu Kiran, T., Yugandhar, P., Bhadana, V. P., Padma, V., Jayasree, G., and Voleti, S. R. (2017). Influence of low phosphorus concentration on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant response of rice genotypes. *Photosynthetica*, 55, 285–293.
- Viollet, P.-L. (2007). *Water engineering in ancient civilizations: 5,000 years of history*. CRC Press.

- Welch, R. M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 14(1):49- 82.
- Wen, Z., Li, H., Shen, J., and Rengel, Z. (2017). Maize responds to low shoot P concentration by altering root morphology rather than increasing root exudation. *Plant and Soil*, 416, 377–389.
- Zhang, C., Simpson, R. J., Kim, C. M., Warthmann, N., Delhaize, E., Dolan, L., Byrne, M. E., Wu, Y., and Ryan, P. R. (2018). Do longer root hairs improve phosphorus uptake? Testing the hypothesis with transgenic *Brachypodium distachyon* lines overexpressing endogenous RSL genes. *New Phytologist*, 217, 1654–1666.
- Zhang, Y., Li, T. T., Wang, L. F., Guo, J. X., Lu, K. K., Song, R. F., Zuo, J. X., Chen, H. H., and Liu, W. C. (2022). Abscisic acid facilitates phosphate acquisition through the transcription factor ABA INSENSITIVE5 in *Arabidopsis*. *Plant Journal*, 111, 269–281.
- Zhao, Y., Mette, M. F., y Reif, J. C. (2015). Selección genómica en mejoramiento híbrido. *Raza Vegetal*, 134, 1–10.