

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación De Ozono En La Producción De Plántula De Chile Poblano Cultivada
En Dos Tipos De Sustrato y Fertilización

Por:

BLADIMIR ALEXIS ORTIZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación De Ozono En La Producción De Plántula De Chile Poblano Cultivado
En Dos Tipos De Sustrato y Fertilización

Por:

BLADIMIR ALEXIS ORTIZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Asesor Principal

Dra. María Genoveva Álvarez Ojeda
Coasesor

Dr. Víctor Manuel Reyes Salas
Coasesor

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2023

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 fragmento o textos sin citar la fuente o autor original (copia y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestado los datos de la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamiento de un autor sin citarlo, utilizar material como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el 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



Bladimir Alexis Ortiz López

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por regalarme la vida, salud y su amor; gracias a sus infinitas bendiciones pude culminar una etapa más en mi vida, por darme sabiduría, fuerza y paciencia para salir adelante de las dificultades que se me presentaron durante los 5 años que duro la carrera.

A mi familia

Que, con su amor incondicional, bendiciones, apoyo y consejos me motivaron, además gracias por compartir momentos de felicidad y alegría.

A la "Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro"

Quien me abrió sus puertas para formarme como profesionista y ser un buitre más de esta institución, por inculcarme principios y valores, y enseñarme a enfrentar problemas en la vida real.

A mis asesores

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez, quien me brindo su confianza para llevar a cabo este proyecto de investigación, por sus conocimientos impartidos, esfuerzo, tiempo, paciencia y dedicación brindada.

Dra. María Genoveva Álvarez Ojeda, lo cual me dio la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en el (INIFAP), ofreciéndome su ayuda, tiempo y orientación para elaborar mi trabajo de tesis.

Dr. Víctor Manuel Reyes Salas, por su tiempo y disponibilidad en la participación de este trabajo.

Dr. Armando Hernández Pérez, por formar parte de este proyecto de investigación, por su tiempo y orientación.

A todos mis profesores

Por todo el conocimiento que me compartieron y que gracias a ellos pude concluir de manera satisfactoria este trabajo.

A mis amigos

Que de una u otra manera supieron motivarme, por compartir momentos de alegría y felicidad.

DEDICATORIAS

A mis padres

Gonzalo Ortiz Pérez y Adelina López Pérez (q. e. p. d.).

Gracias por traerme a este mundo y guiarme por el camino del bien, por el gran ejemplo que siempre me inculcaron, por los consejos y regaños que me han sido de utilidad para caminar por la vida con respeto, honradez y humildad, gracias por la educación que me brindaron. A mi extinta madre, que su único sueño era verme un día como profesional, lo cual fue mi motor principal para nunca rendirme hoy en día puedo decir que ese sueño se le he cumplido y este logro se la dedico hasta el cielo con mucho amor y cariño.

A mis abuelos

Máximo Ortiz Velázquez (q. e. p. d).

Lo cual siempre lo admire, fue como un padre para mí, siempre me cuido y le agradezco por su inmenso amor y cariño. A mis abuelitas Lucy Pérez y Martita Pérez Morales quienes siempre me apoyaron y estuvieron atentas durante mi estancia en la carrera, lo cual les agradezco mucho por sus consejos, palabras de aliento que me motivaron.

A mis hermanos (as)

(Willy, Huber, Rosy, Olga, Noe, Yesi y Magüe), por preocuparse siempre por mí, por la confianza y tanto apoyo que me han brindado.

A mi novia

Carolina Velázquez, lo cual es una persona muy especial en mi vida, le agradezco por la confianza y paciencia brindada, pero sobre todo por su amor incondicional, además por acompañarme en el trayecto de mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Objetivo general.....	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Hipótesis.....	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.4. Descripción botánica.....	18
2.5. Proceso de germinación.....	18
2.6. Factores edafoclimáticos.....	19
2.7. Agricultura protegida.....	19
2.8. Hidroponía.....	21
2.9. Clasificación de los sustratos.....	21
2.10. Características físicas y químicas de los sustratos.....	22
2.10.1. Peat moss.....	22
2.10.2. Fibra de coco.....	22
2.10.3. Perlita.....	23
2.10.4. Vermiculita.....	23
2.11. El osmocote en la producción de plántulas.....	24
2.12. Solución nutritiva.....	24
2.13. Importancia del agua para la producción de plántulas.....	27
2.14. Propiedades físicas y químicas del agua.....	27
2.15. Agua con O ₃	28
2.16. Efecto del agua con O ₃ en las plantas.....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33

3.1.	Ubicación del experimento.....	33
3.2.	Material vegetal.....	33
3.3.	Formación de tratamientos.....	33
3.4.	Procedimiento experimental.....	34
3.4.1.	Siembra	34
3.4.2.	Riego	34
3.4.3.	Aplicación de la solución nutritiva.....	34
		36
3.6.	Variables evaluadas.....	37
3.6.1.	Altura de planta (AP).....	37
3.6.2.	Diámetro del tallo (DT)	37
3.6.3.	Número de hojas (NH)	37
3.6.4.	Longitud de raíz (LR)	37
3.6.5.	Peso fresco del vástago (PFV).....	37
3.6.6.	Peso fresco de la raíz (PFR)	38
3.6.7.	Peso seco del vástago (PSV).....	38
3.6.8.	Peso seco de la raíz (PSR).....	38
3.7.	Análisis estadístico.....	38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1.	Altura de plántula (ALP).....	39
4.2.	Número de Hojas (NH).....	41
4.3.	Diámetro de tallo (DT).....	42
4.4.	Longitud de raíz (LR).....	44
4.5.	Peso fresco de vástago (PFV).....	46
4.6.	Peso fresco de raíz (PFR).....	47
4.7.	Peso seco de vástago (PSV).....	49
4.8.	Peso seco de raíz (PSR).....	51
V.	CONCLUSIÓN.....	53
VI.	LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A= Preparación de sustratos, B= siembra de las semillas de chile poblano, C= aplicación del riego con agua sin O₃, D= aplicación de O₃ en el agua de riego, E= preparación de la solución nutritiva Steiner al 50 %, F= aplicación de la solución nutritiva sin O₃ y con O₃, G= selección de 20 plántulas al azar de cada tratamiento, H= evaluación de las variables, altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso fresco de vástago y peso fresco de raíz, I= secado de muestras del vástago y de la raíz y J= determinación del peso seco de vástago y peso seco de raíz.....36

Figura 2. Altura de plántula obtenida en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....40

Figura 3. Número de hojas obtenidas en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....41

Figura 4. Diámetro de tallo obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....43

Figura 5. Longitud de raíz obtenida en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....44

Figura 6. Peso fresco de vástago obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....46

Figura 7. Peso fresco de raíz obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®,

S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner,
S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución
Steiner.....48

Figura 8. Peso seco de vástago obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote[®],
S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner,
S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....50

Figura 9. Peso seco de raíz obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote[®],
S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner,
S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.....51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Formación de tratamientos con aplicaciones de O_3 y dos tipos de sustrato con dos formas de fertilización en la producción de plántula de chile poblano.....	33
Cuadro 2. Valores medios y significancia estadística en las variables altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT) y longitud de raíz (LR).....	45
Cuadro 3. Valores medios y significancia estadística en las variables peso fresco de vástago (PFV), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de vástago (PSV) y peso seco de raíz (PSR).....	52

RESUMEN

El chile “poblano” (*Capsicum annuum* var. *annuum* 'Poblano') es uno de los alimentos básicos y estratégicos para la alimentación de la población y cuenta con gran importancia económica, gastronómica y sociocultural. Con la finalidad de evaluar la aplicación de ozono en la producción de plántula de chile poblano cultivada en dos tipos de sustrato y fertilización. En el Departamento de Horticultura se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades semillas de chile poblano en un invernadero. Los tratamientos fueron S1+S (70 % de peat moss + 20 % de perlita + 10 % de vermiculite (v/v) y 50% de la formula Steiner) y S2+S (70 % de fibra de coco + 20 % de perlite + 10 % de vermiculita (v/v) y 50% de la formula Steiner). Como tratamiento testigo fue S1+O (70 % de peat moss + 20 % de perlita + 10 % de vermiculite (v/v) y Osmocote® 14-14-14 un fertilizante de lenta liberación. Las aplicaciones de O₃ se realizaron en el agua de riego. Las variables evaluadas fueron altura de plántula (ALP), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), longitud de raíz (LR), peso fresco de vástago (PFV), peso fresco de raíz (PSR), peso seco de vástago (PFV) y peso seco de raíz (PSR). Se obtuvo que la aplicación de ozono en el agua de riego afecto el crecimiento de plántulas de chile poblano. Los mejores resultados se obtuvieron en las plántulas cultivadas en un sustrato elaborado con el 70 % de peat moss, 20 % perlita y 10% vermiculita más el fertilizante de lenta liberación osmocote® 14-14-14, siendo las variables con la mejor respuesta el número de hojas, peso fresco de vástago, peso seco de vástago y peso seco de raíz.

Palabras clave: Hortalizas, solución nutritiva, cultivo sin suelo, nutrición.

I. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum spp.*) pertenece a la familia de las Solanaceae, debido a su uso en la gastronomía por sus grandes variedades, resulta de gran importancia en la agricultura (Pérez, 2023). Además, comprende de 33 especies, de las cuales cinco han sido domesticadas: *Capsicum annum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*, se considera como el segundo cultivo más importante en el mundo solo después del tomate (López y Rosales, 2022).

En el mercado mundial China es el principal país productor de chile con 18,978,027 t, seguido de México con 3,238,245 t, Turquía ocupa el tercer lugar con 2,625,669 t, Indonesia en cuarto lugar con 2,588,633 t y en quinto lugar se encuentra España con una producción de 1,402,380 t, en conjunto aportan aproximadamente el 80 % de la producción mundial (Rodríguez, 2021).

De acuerdo a datos estadísticos del (SIAP, 2022) indica que los principales estados productores de chile en México son: Sinaloa, con 659,684 t, lo equivalente al 21 % de la producción nacional, el segundo lugar lo ocupa Chihuahua con 578,522 t, lo que representa el 19 %; y en tercer lugar esta Zacatecas con 426,086 t, que equivale el 14 %, de los cuales suman el 54 % para la producción nacional.

En México existe gran variedad de chiles de acuerdo a su valor de producción, los de mayor importancia económica son: pimiento morrón, jalapeño, poblano, serrano, anaheim y chilaca (Rodríguez 2021). En efecto el chile poblano es una de las variedades que presenta gran importancia y se identifica como una hortaliza muy demandada (Martínez *et al.*, 2023).

Sin embargo, su producción ha decrecido en los últimos años, debido a la mala calidad de plántulas producidas, además se suman daños por plagas y enfermedades lo que ocasionan pérdidas considerables en su producción; según datos recopilados con los propios productores, los factores anteriores han provocado falta de interés en la continuidad del cultivo y se ha optado por producir el maíz, frijol y algunos frutales (Almaraz *et al.*, 2022).

Para la producción de plántulas de chile poblano se recomienda realizar la siembra en almácigos, con el propósito de obtener plántulas uniformes y vigorosas, garantizando al productor mejor adaptación al ser trasplantados en campo (González *et al.*, 2017). Además, se debe tomar en cuenta la capacidad de las raíces al absorber los nutrientes para el desarrollo inicial de la plántula, el tipo de sustrato a utilizar, la proporción en que se mezclen sus componentes, el tipo y dosis de fertilización aplicada, proporcionando los niveles adecuados de humedad a través del riego y mantener la sanidad mediante el control de plagas y enfermedades (Acevedo *et al.*, 2020). Así mismo, mencionan que el tipo de sustrato y sus características físicas es un factor fundamental para la producción de plántula de calidad.

Las funciones de un buen sustrato es la de suministrar y mantener una adecuada humedad para la semilla y posteriormente para la plántula, aportar los nutrientes necesarios para su desarrollo, tener un buen intercambio gaseoso entre la atmosfera y el sustrato (Rodríguez *et al.*, 2010).

Con respecto a la presencia de oxígeno en sustratos pueden ser favorables para el sistema radical, más aún en situaciones donde existe un riesgo de hipoxia (Moreno *et al.*, 2020). Asimismo, algunos experimentos demuestran que la producción de plantas bajo invernadero, ya sea en solución nutritiva o en sustrato, indican que altos niveles de oxigenación aceleran el desarrollo e incrementan los rendimientos, como resultado de la mejora en procesos anatómico-fisiológicos e incremento en la conductividad hidráulica de las raíces, mayor absorción de minerales y fotosíntesis más eficiente (Urrestarazu *et al.*, 2006).

Mientras que, por otra parte, la disponibilidad de oxígeno en el agua también es importante ya que su contenido es bajo o cercano a cero, especialmente cuando se almacena en tanques cerrados (Bonachela *et al.*, 2007).

Aunado a esto, se ha desarrollado la oxifertirrigación para mejorar la disponibilidad de oxígeno en la rizósfera y consiste en aplicar O₂ disuelto en agua de riego a concentraciones sobresaturadas usando equipo de fertirrigación (Marfá *et al.*,

2005). En tal sentido que ha dado lugar a diferentes técnicas de oxigenación (aeroponía y oxifertirrigación) del medio radical, del agua de riego o de la solución nutritiva (Marfá *et al.*, 2005; Bhattarai *et al.*, 2008; Midmore, 2007).

Por otra parte, el Ozono es una molécula en la que el oxígeno se descompone en su forma atómica y a su vez reacciona con otras moléculas de oxígeno cercanas, debido a la inestabilidad de su estructura reacciona con el agua formando radicales hidroxilos, por ello, es la forma más oxidante de este elemento con la particularidad de ser parcialmente soluble en agua y muy inestable, de modo que no deja residuos tóxicos (Molina, 2022). Además, es una técnica que ayuda a la oxigenación del sustrato debido al aumento de otras formas activas de oxígeno y consecuentemente aumenta la productividad de biomasa de las plantas (Peykanpour *et al.*, 2016).

La aplicación de agua ozonizada es de utilidad para la planta aumentando su área foliar, la materia seca del brote, el grosor del tallo, estimula el crecimiento, aumenta la productividad, incrementa el contenido de oxígeno disuelto en el agua, extiende la biodegradabilidad de los macronutrientes de los cultivos y garantiza la calidad (Graham *et al.*, 2011).

Igualmente, el O₃ en pequeñas cantidades cumple con la función de eliminar los microorganismos (Betaller *et al.*, 2010). Disuelto en agua se puede aplicar como un fungicida, eliminando las enfermedades fitopatógenas presentes en los sustratos y en las plantas (Llerena *et al.*, 2015).

En cuanto a los efectos de las altas concentraciones de ozono troposférico en diferentes cultivos, existen reportes, donde se demostró que en 40 ppb durante 14 h continuas por la noche causó necrosis en hojas de tabaco (Macdowall *et al.*, 1964). Así mismo Kumari *et al.*, 2013, reportaron una reducción en el crecimiento de *Beta vulgaris*, bajo una concentración de 70 ppb de ozono, sin embargo, hay pocas investigaciones del agua ozonizada en la producción de plántulas, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue:

1.1. Objetivo general

Evaluar la aplicación de ozono en la producción de plántula de chile poblano cultivada en dos tipos de sustrato y fertilización.

1.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el comportamiento de la aplicación de ozono en la producción de plántula de chile poblano.
2. Determinar el sustrato que proporciona el mejor rendimiento y calidad de plántula de chile poblano.
3. Evaluar si la forma de fertilizante afecta la producción de plántula de chile poblano.

1.3. Hipótesis

Algún tipo de sustrato y la aplicación de fertilizante tratado con ozono propiciará la producción de plántula de chile poblano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

El chile es una planta que fue descubierta en el continente americano, principalmente en los países de México y Guatemala, desde los años 7200 A.C., evidencias arqueológicas muestran que se han utilizado como una fuente de alimento (Ascencio, 2013). Así mismo dicho investigador, también señala, que la palabra chile se denomina del náhuatl *chilli*, se le conoce como una planta herbácea anual de la familia de las solanácea. En otras partes del mundo recibe el nombre de ají, pimiento, páprika, etc.

2.2. Importancia de la producción de plántulas en almácigos

La importancia del almácigo es proporcionar un medio favorable a la semilla para su germinación y desarrollo en la etapa inicial de su crecimiento. Es la forma más eficiente y recomendable para la producción de plántulas de chile y tomate. Para llevar a cabo su producción es necesario contar con un invernadero para controlar los factores climáticos tales como: luz, temperatura y humedad, así como también, es necesario usar sustratos preparados, desinfectados y que puedan ser utilizados inmediatamente, se sugiere utilizar charolas de 200 cavidades las cuales producen plantas más vigorosas y firmes, además, las raíces sufren un maltrato mínimo ya que salen de las cavidades con el cepellón completo (Mendoza, 2013).

2.3. Taxonomía

Nombre Común: Chile Poblano

Reino: Plantae División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum*

Especie: *Capsicum annuum* L. (Juárez, 2014).

2.4. Descripción botánica

El chile poblano es una planta que tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro, normalmente tiene hojas planas, simples y de forma ovoide alargada, posee una raíz pivotante que llega a profundidades de 0.70 a 1.20 m, y lateralmente hasta 1.20, sus flores se forman en las axilas de las ramas, tienen ambos órganos sexuales en la misma flor llamadas (hermafroditas); a veces son de color blanco o púrpura (SIAP, 2022).

El fruto es una baya que posee una cavidad en su interior, es de color verde, algunas variedades van pasando del verde anaranjado al color rojo a medida que van madurando, alcanza un tamaño hasta más de 500 gramos, las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica, son redondas ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y tiene un tamaño variable de 3 a 5 mm (Mendoza, 2013). La semilla es el medio reproductivo de las plantas, se define desde el punto de vista botánico como el ovulo fecundado, independiente de la planta madre que tiene la capacidad fisiológica de originar un nuevo individuo, la reproducción se lleva a cabo a partir del embrión que da origen al tallo de la planta, está cubierto con primordios de hojas, se le conoce como epicotilo o plúmula, mientras que la radícula se origina a partir del hipocotilo y se encuentra entre la unión de los cotiledones (Flores, 2004).

2.5. Proceso de germinación

El proceso de germinación es el inicio de una nueva generación y se define como la serie de eventos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que permite a la planta completar su ciclo de vida, morfológicamente es la transformación de un embrión en una plántula, que inicia con la aparición de la radícula; fisiológicamente es la reactivación del crecimiento de un embrión; bioquímicamente es la diferenciación secuencial de las vías metabólicas tanto oxidativas como sintéticas, la germinación inicia con la imbibición y finaliza con el inicio de la elongación del eje embrionario, principalmente la radícula (Cano, 2013).

El proceso de germinación consta de cuatro fases para llevar a cabo la activación del metabolismo, las cuales son: crecimiento del embrión, imbibición, elongación de células y emergencia de la radícula (López, 2005).

2.6. Factores edafoclimáticos

El chile poblano es un cultivo que mejor se adapta a temperaturas promedio entre los 20 y 25 °C, temperaturas mayores a los 30 °C ocasiona la pérdida de flores y menores a los 15 °C retrasan su crecimiento (González, 2016). También es importante considerar los niveles de humedad, ya que interviene directamente con la planta, los niveles bajos de humedad retrasan su desarrollo y los niveles altos provocan enfermedades fitopatógenas, específicamente requiere humedades del 50 a 70 % (Cisneros *et al.*, 2007). Además, otro de los factores importantes para la producción de plántulas es la luminosidad, sobre todo cuando la planta se encuentra en la etapa de desarrollo, por lo que la falta de luz provoca tallos débiles (González, 2016).

Pérez. (2016) mencionan que el cultivo necesita horas con periodos medios de luz o duración media de los días para el desarrollo y crecimiento de la planta, permitiendo que las hojas alcanzan su máxima actividad fotosintética a 0.4 cal/cm.

El chile se adapta mejor en suelos con textura areno-limosa, en suelos arcillosos se presenta exceso de humedad provocando enfermedades causados por hongos, requiriendo un pH óptimo de 6.5 a 7.0 (Ascencio, 2013).

Sin embargo, en la actualidad existen alternativas para la producción de alimentos ante la problemática que se presenta por las condiciones climáticas, la agricultura protegida es una de las más utilizadas (Pérez, 2016).

2.7. Agricultura protegida

La agricultura protegida se caracteriza como toda estructura cubierta por materiales transparentes o semitransparentes, lo cual provoca ambientes artificiales para el crecimiento y desarrollo del cultivo, mejora la calidad e incrementa la cantidad del

producto obteniendo mayores oportunidades de comercialización, de tal manera que en los últimos años la agricultura protegida ha impulsado a los agricultores por elegir este sistema de producción, lo que ha permitido incrementar su expansión a nivel mundial con una superficie aproximadamente de 750,000 ha, donde China es el país que más ha aumentado la utilización de este sistema (García *et al.*, 2018).

Estas estructuras son de alta o baja tecnología, construidas para las restricciones que el clima impone sobre el desarrollo del cultivo. Durante varios años, pero sobre todo en las últimas décadas, se han empleado varios tipos de estructuras para la protección de las plantas de acuerdo a sus requerimientos climáticos (Juárez *et al.*, 2011).

Una de las estructuras más utilizadas es el invernadero, tomando en cuenta que es una herramienta muy útil para la producción de cultivos mediante una atmosfera controlada, de manera que aumenta los rendimientos del cultivo, acorta su ciclo vegetativo, se puede producir fuera de temporada consiguiendo mayor precocidad en el producto (Capdeville, 2004).

Otro de los beneficios que ofrece el invernadero, es la producción de plántulas en charolas de poliestireno, es un método tecnológico que ofrece mejor garantía (Berrospe *et al.*, 2012). De tal manera que se obtienen plántulas en un menor tiempo, disminuye la cantidad de semilla utilizada, permite tener un mejor control contra las condiciones climatológicas, mayor control de plagas y enfermedades, se obtienen plantas más sanas y vigorosas, garantizando una mejor adaptación al ser trasplantados a campo abierto (Huerta *et al.*, 2007).

Dentro de estos sistemas de producción, la aportación de los nutrientes al cultivo se lleva a cabo por hidroponía, lo cual consiste en suministrar los nutrientes necesarios para la nutrición del cultivo mediante soluciones nutritivas de fuentes inorgánicas clasificados como fertilizantes químicos (Pérez, 2016).

2.8. Hidroponía

La hidroponía derivada de las palabras griegas Hydro = Agua y Ponos = Labor o trabajo que traducido literalmente significa “trabajo en agua” se emplea una técnica de producción de cultivos, donde no se utiliza el suelo, esta es reemplazado por agua con los elementos minerales proporcionados (López, 2018).

La hidroponía es una técnica utilizada en la horticultura definida como un medio acuoso que sustituye al suelo, y se ha venido desarrollando por más de ocho décadas, en la sustitución del suelo se utilizan los sustratos como un medio de crecimiento de las plantas, puesto que se ha convertido en una necesidad para los productores ya que garantizan plantas uniformes, bien desarrolladas lo cual asegura, con el manejo adecuado, una buena producción, tomando en cuenta las características físicas, químicas y biológicas de los materiales, los más importantes son: densidad del sustrato, la porosidad, la disponibilidad de agua y de aire y, dentro de las propiedades químicas se encuentran los valores de pH y la capacidad de intercambio catiónico (Puerta *et al.*, 2012).

Existen diferentes clasificaciones de los sustratos, basados en el origen pueden ser provenientes de materiales orgánicos naturales que se caracterizan por estar sujetos a la descomposición biológica o subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas (Enríquez, 2017).

2.9. Clasificación de los sustratos

Los sustratos de fuentes orgánicas son provenientes de desechos de animales y de plantas; por ejemplo, turbas, fibra de coco, corteza de pino, cascarilla de arroz, aserrín, paja, composta, entre otros (Quintero *et al.*, 2011).

Los sustratos inorgánicos se pueden clasificar en: 1. De origen natural. Provenientes de rocas o minerales, una de ellas son las rocas de tipo volcánico como el jal, tezontle, piedra pómez, arena, grava. 2. Materiales transformados o tratados industrialmente. Las cuales son obtenidos a partir de rocas o minerales mediante tratamientos físicos o químicos, de las cuales se obtienen la perlita, vermiculita,

arcilla expandida y lana de roca. 3. Residuos y subproductos industriales, como las escorias de horno alto, estériles de carbón (Cruz *et al.*, 2013).

En la producción de plántulas en un medio de cultivo sin suelo se requieren sustratos que le permite a la planta tener un mejor anclaje del sistema radical, brindándole un mejor soporte (Abad *et al.*, 2005).

Cadahía (2005) menciona que el sustrato debe de cumplir con cuatro funciones que garanticen a la planta una mejor adaptabilidad: a) asegurar el anclaje mecánico; b) que las raíces sean capaces de adsorber el agua para satisfacer las necesidades hídricas; c) el sustrato debe proporcionar el oxígeno que necesitan las raíces para su correcto funcionamiento, ya que las raíces son órganos aerobios y d) debe contener los elementos esenciales.

También Gayosso *et al.* (2016) hacen mención que las características físicas que hay que considerar para seleccionar un buen sustrato, son: densidad aparente, granulometría, porosidad y que tenga buena retención de humedad.

2.10. Características físicas y químicas de los sustratos

2.10.1. Peat moss

La turba o mejor conocido como peat moos es proveniente de restos vegetales que está en proceso de descomposición, es un sustrato que se extrae de restos de vegetación acuática, pantanosa o de Ciénega, uno de los principales componentes que lo integran son los restos de musgo del género *Sphagnum moss*, es el sustrato más utilizado en la horticultura para la producción de plántulas, por sus características químicas físicas y biológicas que posee es un sustrato excelente para la germinación y crecimiento (Berrospe, 2010).

2.10.2. Fibra de coco

Es derivada del desfibramiento industrial del mesocarpo de la cascara de coco (*Cocus nucifera*), obteniéndose un sustrato de estructura granular homogénea,

además, tiene una excelente capacidad de aireación y buena retención de humedad, posee una baja densidad aparente y un pH entre 5 y 6 (Muñoz, 2007).

Mientras que, Jaramillo (2006) menciona que la fibra de coco tiene un bajo contenido de nitrógeno y excelente contenido en potasio; contiene cerca de 2 ppm de boro y se recomienda la aplicación de 0.2 ppm en hortalizas ya que son muy sensibles al exceso de boro.

2.10.3. Perlita

Es un compuesto químico, la cual proviene de rocas o minerales, tiene un diámetro de 5 mm con una densidad aparente de 0.1 a 0.12 g cm³, con una excelente capacidad de aireación (29 %) y un elevado espacio poroso (85.9 % en volumen total), es un material inerte, que no se descompone biológicamente ni químicamente, el pH que se usa es neutro o ligeramente alcalino (7 - 7.5), con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de (1.5 – 2.5 meq 100 g⁻¹ de suelo) (Barrón, 2013).

2.10.4. Vermiculita

La vermiculita se emplea en una mezcla con sustratos, porque retiene grandes cantidades de agua y cargas positivas de nutrientes como potasio, magnesio y calcio, tiene un peso ligero (21 a 33 kg/m³), el pH varía dependiendo del lugar de extracción (Santos *et al.*, 2013).

Otro de los aspectos a considerar para la producción de plantas es la nutrición el cual se debe proporcionar los nutrientes mediante cantidades adecuadas (dosis) y en el momento oportuno (frecuencia), con relación a su necesidad fisiológica (fenología), también, para obtener la mayor eficiencia de los nutrientes es importante conocer las fuentes de los nutrientes (Fertilizantes) más adecuados para las condiciones específicas de cada tipo de suelo en el que se establecerá el cultivo (Dzul *et al.*, 2008). Los mismos autores recomiendan que la nutrición del chile poblano se debe realizar en el almacigo, ya que cuando la planta genera las hojas verdaderas incrementa la demanda de nutrimentos, principalmente de

macronutrientes, esto debido que la nutrición del cultivo interviene en su crecimiento, tomando en cuenta la sincronización del aporte de los nutrientes y las características que determinan el momento oportuno del trasplante.

La aplicación de elementos minerales en la fase de desarrollo del cultivo aumenta su rendimiento, por lo que garantiza un crecimiento uniforme de la plántula, se obtiene mayor calidad y menor porcentaje de pérdidas después de ser trasplantados (Magdaleno *et al.*, 2006).

2.11. El osmocote en la producción de plántulas

Es un producto manufacturado por O.M Scotss Company (anteriormente por Grace Sierra Horticultural Products Company), se ha utilizado por décadas en diferentes sectores agropecuarios, es un fertilizante central soluble, cubierto por un polímero termosensible de dicitopentadieno de hidrocarbano (Ávila, 2015).

Es de liberación lenta hasta los 140 días, se puede controlar adecuadamente, puede liberar los nutrientes de manera requerida por cada tipo de planta según la fase de crecimiento (Gutiérrez y Muñoz, 2010).

Blandón en el (2008) menciona que el uso de fertilizante de liberación controlada (osmocote) fue muy importante para el crecimiento de plantas de café, estudiados en diferentes sustratos.

Los sustratos que se utilizan, en un sistema hidropónico generalmente se usan con la aplicación de riegos y soluciones nutritivas que contiene los nutrientes y minerales en concentraciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cabañas, 2020).

2.12. Solución nutritiva

La solución nutritiva es la principal fuente de los sistemas hidropónicos, lo cual se asocia muy bien con el agua, contiene todos los nutrientes y minerales que la planta requiere, lo absorben en forma de iones y son aportados en forma de fertilizantes comerciales, tomando en cuenta, la concentración total de los mismos, la

conductividad eléctrica (CE) y el pH de la solución, para conformar una solución ideal (Cabañas, 2020).

Este método es la llave del éxito para complementar la nutrición de la planta mediante sistemas hidropónicos, las necesidades nutrimentales que se requiere son aportadas en la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) (González, 2011).

La solución nutritiva de Steiner (1984) es la más común en estudios sobre la producción de diferentes cultivos (Luna, 2021). Para realizar una fórmula adecuada de una solución nutritiva, Steiner estudio sistemáticamente el efecto de la solución nutritiva (SN) sobre el desarrollo de los cultivos, para lo cual hizo una relación de los nutrientes a como se encuentran en las plantas en condiciones normales de crecimiento, la primera relación fue entre los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} y la segunda entre los cationes K^+ , Ca_2^+ y Mg_2^+ , sin embargo, también utilizó la preparación de micro elementos en cantidades muy pequeñas (Hidalgo, 2016).

Para el correcto funcionamiento del organismo de las plantas hay que tomar en cuenta principalmente la relación de cationes y aniones en una solución nutritiva, ya que el crecimiento de la parte aérea y el desarrollo del sistema radical depende del equilibrio fisiológico de la solución nutritiva, en este sentido, las características de la solución nutritiva que más influye en el crecimiento, rendimiento y calidad de los productos es la relación mutua de cationes, la relación mutua de aniones, la concentración total de iones y el pH (Villegas, 2005).

Uno de los elementos esenciales para la planta es el nitrógeno, estas lo absorben en forma de nitrato (NO_3^-) y en forma de amonio (NH_4^+), ambos pueden ser aplicados en una solución nutritiva, una concentración adecuada de estos iones incrementa la altura de planta, la biomasa y el rendimiento de los cultivos (Urbina *et al.*, 2020).

Parra (2016) realizó un experimento donde trabajo con las relaciones de aniones (NO_3^-) y cationes (K^+) en la solución nutritiva para el crecimiento de plántulas de tomate, donde demostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) de la interacción de aniones

por la interacción de cationes para altura de plántula (AP), diámetro de tallo (DT) y peso seco de tallo (PST), mientras que el factor relación porcentual NO_3^- /aniones tuvo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para peso seco de hojas (PSH) y para peso seco de plántulas (PSP), llegando a una conclusión que la selección de plántulas de tomate para el trasplante en campo abierto debe de considerarse el efecto de dicha interacción sobre estas variables del crecimiento.

Además, Fajardo *et al.* (2022) llevaron a cabo un experimento donde aplicaron una nutrición mineral al chilhuacle en tres etapas fenológicas, por lo que la concentración de NO_3 en la solución nutritiva su crecimiento fue de, 10, 12 y 14 meq/L^{-1} , tuvieron un efecto estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) en la concentración relativa de clorofila (50.35 unidades SPAD), área foliar (292.4 cm^2) y longitud de raíz (18 cm), al igual que en la acumulación de materia seca de raíz (0.5 g) y hoja (1.23 g). En las variables altura de planta, diámetro de tallo principal, volumen de raíz, materia seca de tallo y de la planta completa resultaron afectadas por la concentración de NO_3 de la solución nutritiva, en este sentido, con 14 meq L^{-1} de NO_3 las plantas fueron 11.51 % más altas, se observó un incremento de 21 % más en el diámetro de tallo a diferencia de las plantas nutridas con 12 meq L^{-1} (testigo), algo similar en el volumen de raíz con 14 meq L de NO_3 las plantas presentaron 30.55 % más volumen de raíz que con una nutrición con 10 y 12 meq L^{-1} de NO_3 .

Otra investigación realizada por Tucuch. (2012) trabajó con la producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense*) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos, al evaluar los factores (solución nutritiva y partículas de sustrato) de los tratamientos de manera independiente, demostró que la altura y diámetro de la planta no se afectó por los tratamientos de la proporción de N en la solución nutritiva de amonio/nitrato. En cambio, los rangos de tamaño de gránulo del tezontle de 3-5 mm y 5-10 mm de la mezcla de sustrato impactó en mayor altura de la planta contra el tezontle sin cribar, este concepto en la medición del diámetro de tallo fue consistente para los tratamientos del tezontle cribado a tres tamaños en contra del tezontle sin cribar.

De los 17 elementos esenciales, generalmente para la producción de cultivos hortícolas nada más se aplican 12 (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo), ya que el C, H, O, Cl, no se aplican porque los cuatro elementos las plantas lo obtienen del agua o del aire y el último elemento que es el Ni no se utiliza debido a que se desconoce su impacto en las hortalizas y se considera como un contaminante en los fertilizantes (Parra *et al.*, 2016).

Además, para la producción de plántulas en charolas, se debe considerar la humedad del sustrato, especialmente la disponibilidad suficiente de agua en las raíces, ya que de ahí depende el crecimiento de la planta (Vence, 2008).

2.13. Importancia del agua para la producción de plántulas

El agua es muy importante para la vida de los seres vivos y también para la vida de las plantas, siendo que, la fotosíntesis es uno de los principales procesos fisiológicos de las hortalizas, por lo que al tomar CO₂ del aire a través de los estomas, las plantas transpiran, permitiendo que entren en un estrés hídrico, en tal sentido que afecta directamente al crecimiento y desarrollo e incluso puede ocasionar la muerte (Beltrano y Jiménez, 2015).

El agua es la molécula esencial para la vida, es el componente necesario para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se conoce que más del 90 % del peso en verde de la planta está formado por agua, por lo que es muy importante para la supervivencia y producción de los cultivos, de manera que, el objetivo de la frecuencia de riego es crear condiciones de humedad al suelo para que las raíces puedan absorber el agua y transportarlas a la parte aérea de la planta (Mendoza, 2013).

2.14. Propiedades físicas y químicas del agua

De acuerdo a las propiedades físicas, se caracteriza por ser un líquido entre 0 y 100 °C a presión atmosférica, con un calor específico muy elevado (1 cal/g °C), calores de vaporización 540 cal/g (a 1 atm) y de alto valor de congelación (80 cal/g), presenta su máxima densidad (1 kg/l), tiene una temperatura de 25 °C, el pH es de

7, en su propiedad química tiene una molécula de agua que está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, teniendo una fórmula de H_2O , además se le conoce como una sustancia químicamente muy activa ya que tiene la facilidad de disolver y reaccionar con otras sustancias, tanto como orgánicas como inorgánicas, comúnmente se le conoce como el disolvente universal (Estrada, 2012).

Hoy en día existen diferentes factores que afectan la calidad del agua, principalmente en el uso de aguas residuales no tratadas que son utilizadas en la agricultura, estos presentan un serio riesgo para los cultivos, pues conforman una importante fuente de agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos (lombrices) que afectan directamente a la planta (Veliz *et al.*, 2008).

El ozono es un método que es aplicado para la desinfección de agua potable y tratamientos de aguas residuales, entre otros, debido a su alto grado de eficacia como desinfectante y su potencial para la degradación de contaminantes y pesticidas (Díaz, 2022).

2.15. Agua con O_3

El agua con O_3 es un método que se puede definir en un proceso de ozonización, en el cual se lleva un proceso de burbujeo en el agua (Martínez, 2019).

El O_3 está compuesto por tres moléculas de oxígeno (O_3) y a su vez reacciona con otras moléculas de oxígenos cercanas, debido a su desequilibrio de su estructura, el ozono reacciona con el agua formando radicales hidroxilos, por ello, es la forma más oxidante y soluble en el agua (Molina, 2022).

2.16. Efecto del agua con O_3 en las plantas

Dado por su alto poder germicida y su descomposición espontanea a oxígeno, se ha catalogado como un agente potencial para garantizar la seguridad microbiológica y la calidad de los alimentos, ya que funciona como un poderoso agente oxidante eficiente en la desinfección y se señala como el más serio competidor del cloro, por no formar compuestos tóxicos de degradación, se le considera una tecnología

limpia, segura y eficiente, y no afecta al medio ambiente, ya que deja como residuo moléculas de oxígeno (Santo, 2013).

Mientras tanto, Molina en el (2022) mencionó acerca de la importancia del uso del agua ozonizada en la agricultura, por las posibilidades que posee en el control de plagas y enfermedades. Además, tiene un efecto insecticida sobre especies de áfidos junto con la disminución de conidios de *Fusarium oxysporum* y la disminución de poblaciones de bacterias y nematodos en el suelo (Caro *et al.*, 2021). Mismos investigadores hacen mención que el ozono tiene una alta capacidad de eliminar los componentes celulares, el cual se ha conseguido reducir la presencia de microorganismos en postcosecha de tomates, lechugas, cebollas y otros alimentos. El ozono es capaz de oxidar la pared celular de los microorganismos, rompiendo y atacando a los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), para su completa eliminación (Garcés, 2021).

Mientras que, Graham *et al.* (2011) habla sobre la aplicación de ozono en agua de riego, donde indica que es una tecnología eficiente para reducir los niveles de contaminación química y la eliminación de patógenos en el agua de riego de invernaderos.

También, García (2020) realizó un experimento donde llevó a cabo la aplicación de ozono en agua de riego para control de enfermedades fungosas en el cultivo de pepino, y demostró que la aplicación de agua ozonizada con una capacidad oxidante en un rango de 200 a 500 mili voltios tuvo efectos benéficos en el desarrollo vegetal principalmente en las variables Diámetro del tallo (DT), Altura de planta (AP) y Numero de hojas (NH). Así mismo, observó que la ausencia de productos químicos para el control de enfermedades, estimuló el crecimiento de las plantas y el número de hojas, sin embargo, las plantas sufrieron severas afectaciones por las enfermedades.

Martínez y Aguayo en el (2019) utilizaron el agua con O₃ para la producción de plántulas, el efecto que estos investigadores observaron fue que hubo una mejor penetración del agua, mejoró la resistencia del cultivo contra diversas enfermedades y además se redujo la dosis de fertilización necesarios para la planta. Los mismos autores añaden que la desinfección del agua de riego utilizada para la producción de plántulas, ha sido muy importante para la prevención de pérdidas de plantas durante el desarrollo del cultivo, especialmente los que se cultivan en vivero.

El agua con O₃ no solo tiene la capacidad de reducir la presencia de microorganismos también tiene efectos benéficos para el desarrollo vegetativo de las plantas (García *et al.*, 2021). Debido a esto, se han utilizado en cultivos sin suelo, para la desinfección del sustrato y lograr aumentar la concentración de oxígeno en la solución nutritiva y también del sustrato (Díaz *et al.*, 2022).

De este modo, la presencia de oxígeno en las raíces es esencial para el crecimiento óptimo de las plantas, además participa en diferentes procesos metabólicos como; el metabolismo de carbohidratos, la reducción de nitratos, la fijación simbiótica de nitrógeno, la renovación de proteínas, el mantenimiento del gradiente de protones y la absorción de nutrientes por las raíces, lo que genera efectos benéficos sobre el crecimiento radical y de vástago, y en el desarrollo general de la planta (Moreno *et al.*, 2020).

Estudios realizados por Colunje *et al.* (2021) demostraron que la aplicación de fertirrigación con agua ozonizada en pimiento, incrementó el crecimiento y la biomasa, pero disminuyó la calidad de la raíz. Señalan que el aumento de la biomasa se debió a que las plantas obtuvieron mayor captación de N y K, además mencionan que obtuvieron mayores proporciones de peso de tallo y hoja con una mayor área foliar y un aumento en las concentraciones de clorofila, con mayor síntesis de bioasimilados favoreciendo su crecimiento, concluyeron que esto se debió a que la planta obtuvo mayores proporciones de absorción de N, P y K.

Por otro lado, Ishii *et al.* (2021) trasplantaron espinaca mostaza japonesa en un sistema hidropónico, para ver los efectos del agua con ozono, donde observaron

que los pesos frescos y secos de las hojas, y el número de las hojas, la longitud y el ancho de las hojas mostraron mejores resultados significativos con la aplicación de agua con O₃. Por lo que la aplicación de 5.8 mg·L⁻¹ de concentración de O₃ disuelto en una solución nutritiva durante una hora por semana, promueve el crecimiento de las plantas aéreas sin un desorden fisiológico.

Moreno *et al.* (2020) señalan que las raíces en condiciones aeróbicas requieren la presencia de O₂ en la rizósfera para que se lleve a cabo el proceso de la respiración, además de otros factores tales como; temperatura, salinidad, metales pesados, estrés hídrico y saturación del espacio poroso, pero lo más indispensable es la disponibilidad de O₂.

La falta de O₂ en las raíces provoca que la planta pueda presentar disminución en consumo de agua, marchitamiento y conductancia estomática reducida (Bhatla, 2018), crecimiento lento y disminución del rendimiento (Bhattarai *et al.*, 2008; Maestre y Martínez, 2010).

2.17. Efecto del agua con O₃ en el sustrato

Las principales características físicas que debe de tener un sustrato ideal son; elevada disponibilidad de agua, adecuado suministro de aire, baja densidad aparente y alta estabilidad estructural, lo cual la tasa de difusión de oxígeno (TDO) se encuentra relacionada con la capacidad de aireación, cuyos valores a 30 % no tendrá TDO limitantes para la absorción de agua y nutrientes (Bonachela *et al.*, 2007; Pineda *et al.*, 2012).

El oxistropismo permite a las raíces evitar las zonas del sustrato con bajos niveles de oxígeno, lo que genera la reducción de la competencia entre las raíces por agua, nutrientes y el propio oxígeno, además de generar efectos inmediatos sobre el crecimiento radical y el vástago, lo que implica el desarrollo general de la planta (Moreno *et al.*, 2020).

Las plantas que crecen en contenedores, principalmente las que duran por largos tiempos, desarrollan mayor número de raíces en el fondo del contenedor y en el

espacio entre el sustrato (Gallegos *et al.*, 2020). Debido a que la compactación genera deficiencia de oxígeno y muerte de las raíces en el centro del contenedor, esto se presenta principalmente en sustratos compactados que presentan resistencia mecánica a la penetración de las raíces y en sustratos con contenido alto de materia orgánica que entra en descomposición por microorganismos consumidores de oxígeno, además de las propiedades físicas que restringen la disponibilidad de O₂ (Friedman y Naftaliev, 2012). Además, el bajo contenido de O₂ aumenta la susceptibilidad a la infección por patógenos, ya que las esporas se estimulan con los exudados en la rizósfera, como es el caso de *Phytophthora infestans*, donde el anegamiento genera respiración anaeróbica con liberación de etanol que estimula la producción de estructuras de infección (Lal *et al.*, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en los días del 19 de marzo al 28 de mayo de 2022 en un invernadero en el Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena vista, Saltillo, Coahuila, México que se ubica en las coordenadas 25° 21' 23.55" latitud N, 101° 25' 16" longitud O y a 1763 msnm.

3.2. Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile poblano (*Capsicum annuum* var. *annuum* 'Poblano') de la marca Hortaflores con un porcentaje de germinación al 90%.

3.3. Formación de tratamientos

Para determinar el efecto del O₃ en la producción de plántula de chile poblano cultivada en dos tipos de sustratos más dos formas de fertilización se prepararon los sustratos como se observa en el Cuadro 1. Una forma de fertilización se realizó con la solución nutritiva elaborada con la fórmula Steiner al 50% y otra con el fertilizante de lenta liberación osmocote® 14-14-14 que se consideró como testigo y con y sin aplicaciones de O₃ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Formación de tratamientos con aplicaciones de O₃ y dos tipos de sustrato con dos formas de fertilización en la producción de plántula de chile poblano.

Tratamiento	Ozono (O ₃)	Tipo de sustrato y fertilización
1	Sin O ₃	peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®
2	Sin O ₃	peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% S
3	Sin O ₃	fibra de coco (70%) + perlite (20%) + vermiculita (10%) + 50% S
4	Con O ₃	peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®
5	Con O ₃	peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% S
6	Con O ₃	fibra de coco (70%) + perlite (20%) + vermiculite (10%) + 50% S

*S= Solución Steiner

3.4. Procedimiento experimental

3.4.1. Siembra

El día 19 de marzo de 2022 se reunieron todos los materiales en un invernadero del Departamento de Horticultura y se procedió a realizar la mezcla de los materiales para la preparación del sustrato en las proporciones mencionadas en el cuadro anterior en base a volumen. Posteriormente se mezclaron los materiales uniformemente y se humedecieron a un 60 % de retención de humedad. Más tarde, se llenó la mitad de la charola (100 cavidades) con cada tipo de sustrato y se colocó una semilla por cavidad a un 1 cm de profundidad, después de terminar la siembra, se colocaron las charolas en el invernadero cubriéndolos completamente con bolsas negras de polietileno, con el fin de evitar la pérdida de humedad del sustrato y aumentar la temperatura para la germinación de las semillas.

Los tratamientos donde se realizó la fertilización con el fertilizante de lenta liberación osmocote[®] se aplicó al momento de realizar la mezcla de los materiales y nunca más se volvió a aplicar fertilizante alguno.

3.4.2. Riego

Se realizó cada tercer día o dependiendo de la humedad del sustrato, durante los primeros días se estuvo aplicando el riego con agua sin O₃ donde se utilizó agua potable de la cual llega al invernadero. Después de que la planta emitió sus primeras dos hojas verdaderas el riego se inició con la aplicación con O₃ en el agua.

3.4.3. Aplicación de la solución nutritiva

La solución nutritiva se elaboró de acuerdo a la fórmula de Steiner al 50 % utilizando la fórmula modificada por Castellanos (2004). Para ello se realizó un análisis de agua por el laboratorio Fertilab y en base a ello se complementaron los macro y micro elementos donde se utilizaron los siguientes fertilizantes:

- 1.03 ml de ácido fosfórico
- 0.75 ml de ácido sulfúrico
- 3.0 ml de ácido nítrico
- 7.0 g de nitrato de potasio
- 0.8 g de nitrato de calcio
- 0.3 g de sales Epson
- 20 ml de los micronutrientes

Los micronutrientes se prepararon en una solución madre, para ello en un vaso de precipitados con agua potable y los fertilizantes sulfato de cobre, sulfato de zinc, molibdato de amonio, manganeso y quelato de hierro los cuales se mezclaron hasta quedar completamente homogéneos y luego se aforó la solución hasta formar un litro. Por último, se vació en una botella de vidrio color ámbar.

La solución nutritiva se aplicó cada tercer día.

3.4.4. Aplicación de O₃ en el agua de riego

En un recipiente de la capacidad de 20 litros se agregó agua potable de la red que llega al invernadero y en dicho recipiente se introdujo una esfera porosa la cual se conectó a un ozonificador marca América Water Treatment y ésta a su vez se conectó a la corriente eléctrica con programación de 20 minutos.

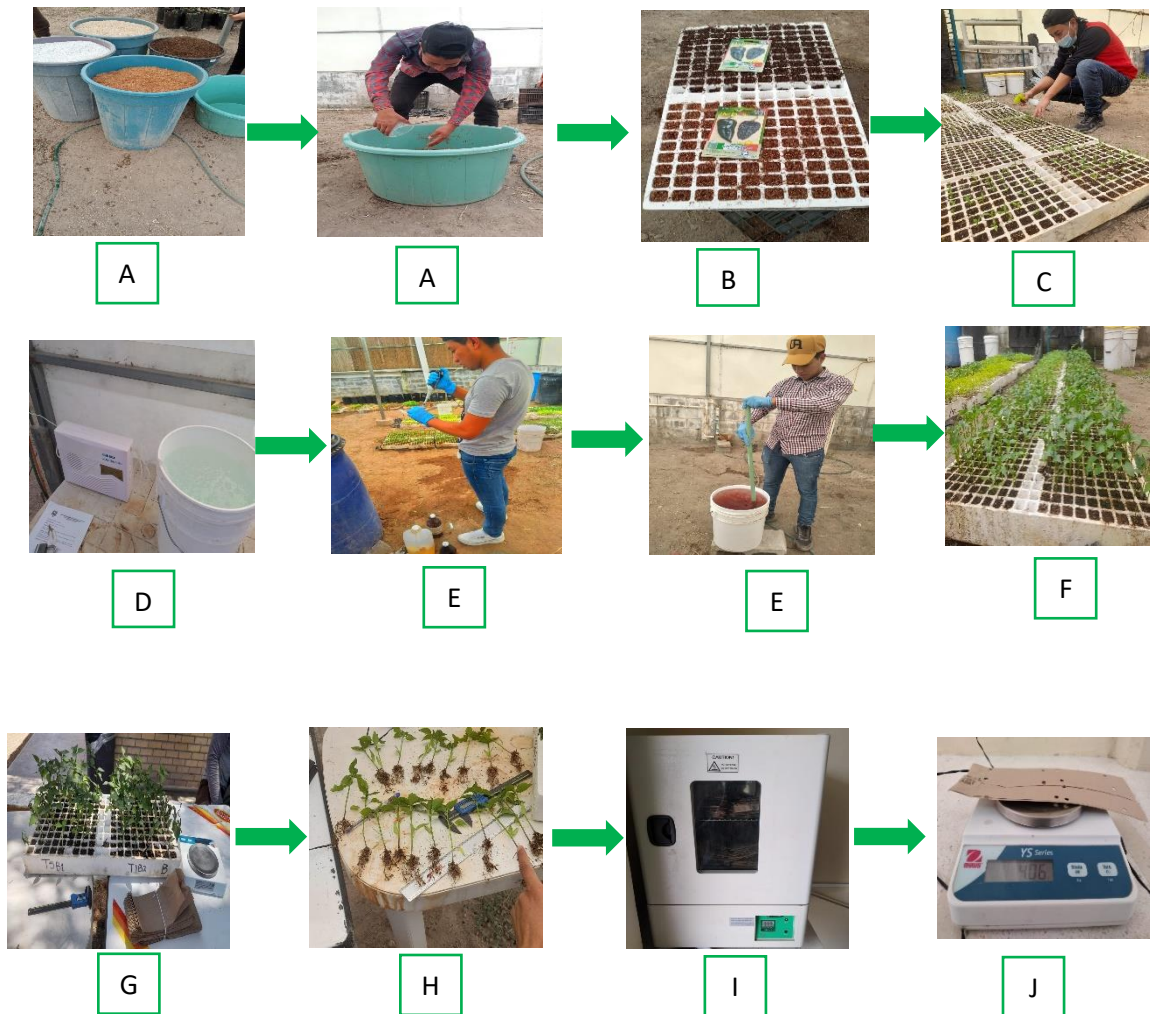


Figura 1. A= Preparación de sustratos, B= siembra de las semillas de chile poblano, C= aplicación del riego con agua sin O_3 , D= aplicación de O_3 en el agua de riego, E= preparación de la solución nutritiva Steiner al 50 %, F= aplicación de la solución nutritiva sin O_3 y con O_3 , G= selección de 20 plántulas al azar de cada tratamiento, H= evaluación de las variables, altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso fresco de vástago y peso fresco de raíz, I= secado de muestras del vástago y de la raíz y J= determinación del peso seco de vástago y peso seco de raíz.

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con igual número de repeticiones por tratamiento donde la unidad experimental fue una plántula.

3.6. Variables evaluadas

Para la evaluación de las plántulas de chile poblano se tomaron 20 plántulas al azar de cada tratamiento de la parte central de la charola evitando el efecto orilla cuando alcanzaron 15 cm de altura en promedio. Para ello se separó el cepellón de la charola cuidadosamente sin romper las raíces y posterior se evaluaron las siguientes variables:

3.6.1. Altura de planta (ALP)

Para esta variable se tomó la medida con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, obteniendo los datos reportados en cm.

3.6.2. Diámetro del tallo (DT)

En esta variable se tomó la medida del diámetro de la planta con un vernier, posteriormente se reportaron los datos en mm.

3.6.3. Número de hojas (NH)

Esta variable se obtuvo contando el número de hojas por planta.

3.6.4. Longitud de raíz (LR)

Se procedió a medir con una cinta métrica, desde el cuello de la raíz hasta la punta de la raíz, obteniendo los resultados en cm.

3.6.5. Peso fresco del vástago (PFV)

Esta variable se obtuvo quitando la raíz a cada una de las plantas seleccionadas, posteriormente se pesó en una balanza analítica obteniendo los datos reportados en g.

3.6.6. Peso fresco de la raíz (PFR)

Para esta variable se pesó solamente la raíz en una balanza analítica, obteniendo los datos reportados en g.

3.6.7. Peso seco del vástago (PSV)

Una vez obteniendo el peso fresco, se procedió a colocarlos en bolsas de 5 en 5 ya etiquetadas y fueron secados en una estufa a una temperatura de 45 °C por 72 horas, obteniendo así un promedio del peso del vástago reportado en g.

3.6.8. Peso seco de la raíz (PSR)

Una vez obteniendo el peso fresco de la raíz, se procedió a colocarlos en bolsas de 5 en 5 para secarlos en una estufa a una temperatura de 45 °C por 72 horas, obteniendo así un promedio del peso seco de la raíz reportado en g.

3.7. Análisis estadístico

Los datos se analizaron en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2x3 donde el primer factor fue el ozono (O₃) y el segundo factor el sustrato + fertilización (St+F). El paquete computacional utilizado para el análisis de datos fue el SAS para Windows versión 9.0. Los análisis estadísticos fueron un ANVA ($P \leq 0.05$) y una comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$). La unidad experimental fue una plántula.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de plántula (ALP)

En la producción de plántula de chile poblano el tamaño de la misma es un indicador importante al momento de su comercialización. Al realizar el experimento y analizar los datos se obtuvo diferencia significativa en la interacción O_3 y St+F (ozono y sustratos+fertilizante). Es decir, que el efecto combinado de ambos influyo en el crecimiento de la plántula (Cuadro 2).

En la Figura 2 se observa que el mayor tamaño de plántula fue de 16 cm y se obtuvo en las plántulas cultivadas con el sustrato S2+S (70 % fibra de coco + 20 % perlite + 10 % vermiculita y como fertilizante el 50 % de la formulación Steiner) independientemente de la aplicación o no de O_3 y con las plántulas cultivadas con el S1+O (70 % fibra de coco + 20 % perlite + 10 % vermiculita y como fertilizante osmocote[®]) y riego con O_3 . Al comparar estos resultados se puede decir que el tipo de sustrato utilizado influyo en la ALP, siendo la fibra de coco el más efectivo en la germinación y crecimiento de las plántulas. Posiblemente este resultado se deba a cómo lo mencionó Ayala *et al.* (2008), a su capacidad porosa para retener agua, así como la lenta degradación que tiene la fibra, con ello se mantuvo las propiedades de aireación e hidratación durante todo el ciclo de vida del cultivo, cuando esto es usado para sistemas productivos en áreas controladas.

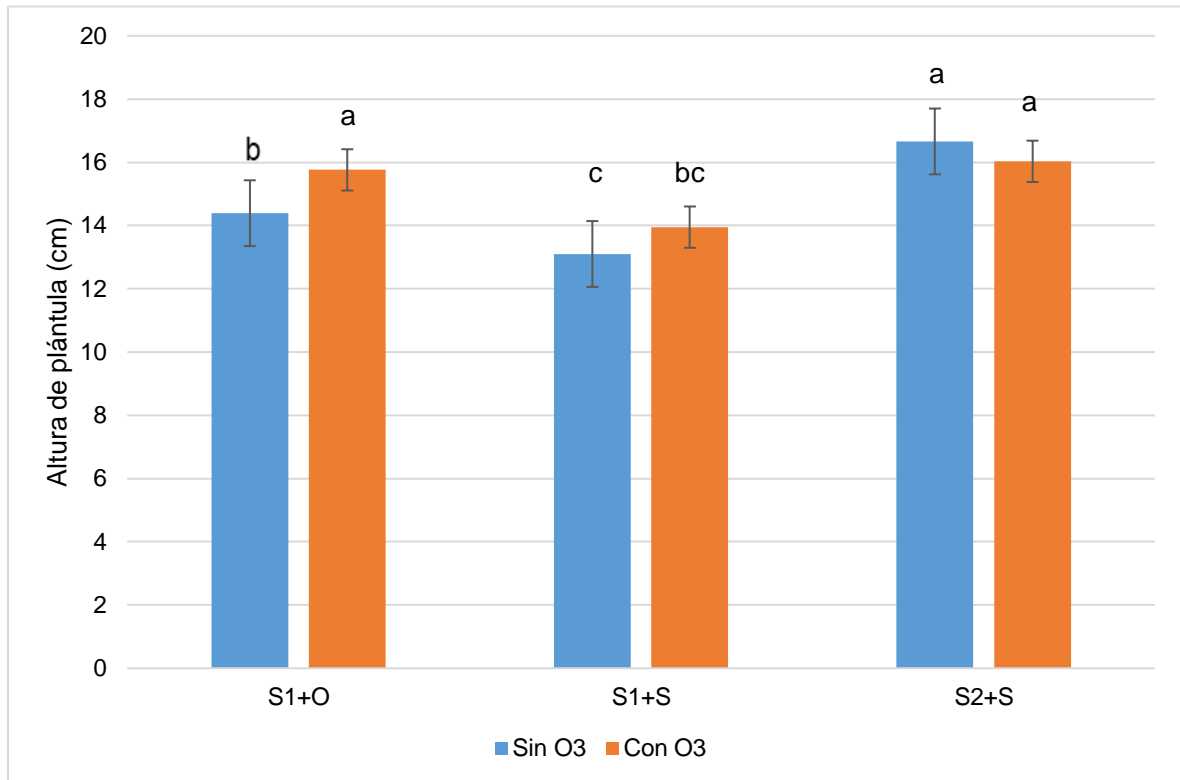


Figura 2. Altura de plántula obtenida en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Con respecto a la aplicación de O₃ existe diferencias con los resultados obtenidos por Ohashi *et al.* (2009) donde indican que el crecimiento inicial de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) alimentadas con solución nutritiva preparada con ozono en el agua fue mayor con una concentración de 1.5 mg L⁻¹ de O₃, mientras que sin la aplicación de O₃ su crecimiento disminuyó.

También García (2020) realizó un experimento, donde llevó a cabo la aplicación de ozono en el agua de riego para control de enfermedades fúngicas en el cultivo de pepino, y pudo demostrar que la aplicación de ozono en el agua con una capacidad oxidante en un rango de 200 a 500 mili voltios tuvo efectos benéficos en el desarrollo vegetal principalmente en las variables diámetro de tallo, altura de planta y número de hojas.

4.2. Número de Hojas (NH)

Una plántula de chile poblano con mayor número de hojas es mejor ya que hay mayor posibilidad de producir carbohidratos producto de la fotosíntesis. Al realizar el ANVA y la comparación de medias por Tukey se observó diferencia significativa en el factor O_3 y St+F (Cuadro 2). El mayor número de hojas de chile poblano (8 en promedio) se obtuvo en el tratamiento testigo que fue el S1+O (70% de peat moss+ 20% de perlita+20% de vermiculita + osmocote®) y se regó tanto con agua sin O_3 como con agua con O_3 (Figura 3).

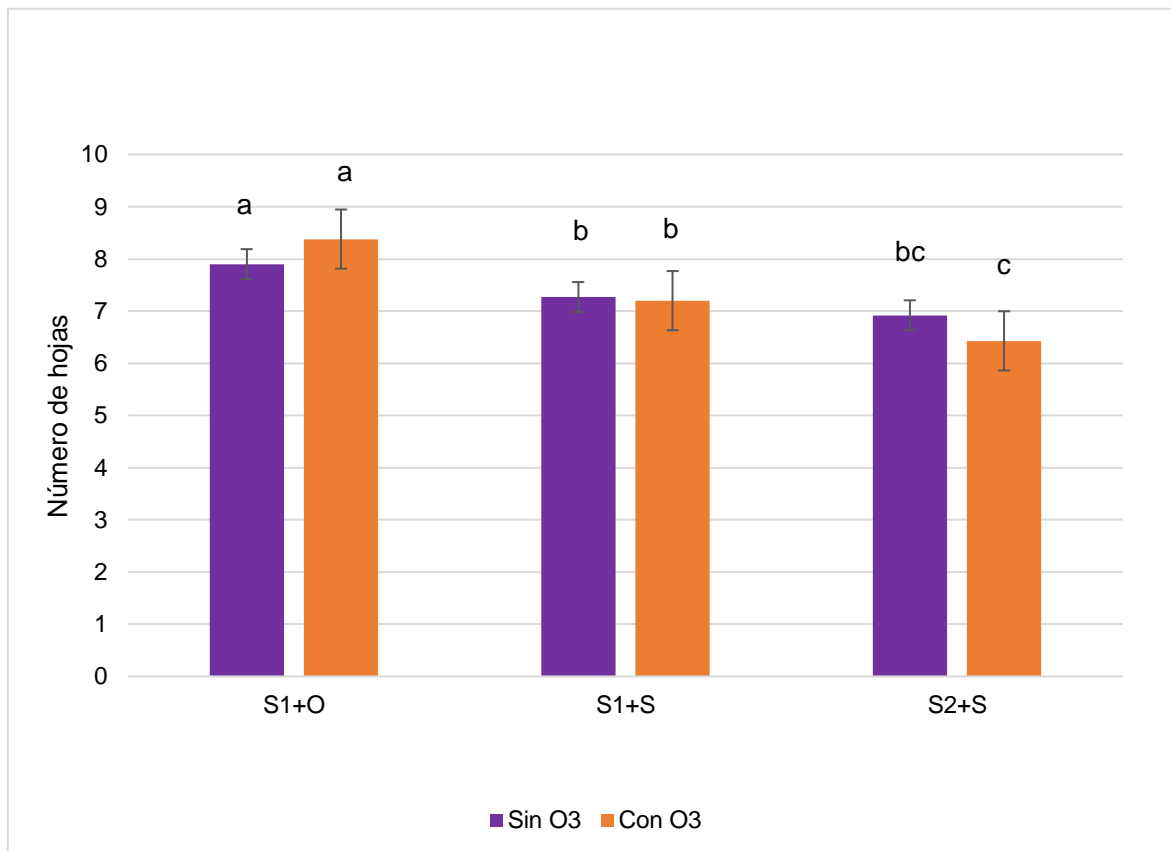


Figura 3. Número de hojas obtenidas en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O_3 o con O_3 . S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Resultados similares encontraron Ishii *et al.* (2021) en el cultivo de mostaza japonesa donde lograron demostrar que con O₃ en el agua aplicado en un sistema hidropónico afectó de forma favorable el peso fresco de hojas, peso seco de las hojas, número de las hojas y la longitud y el ancho de las hojas. Posiblemente, esta respuesta se deba a que el O₃ además de reducir la presencia de patógenos en el suelo o sustrato propicia la oxigenación de la raíz y promueve una mejor absorción de los nutrientes.

Los resultados obtenidos en este experimento quizás se deban a como lo observaron Lazcano *et al.* (2021) en un estudio realizado en plántulas de tomate encontraron que el tipo de materiales utilizados para elaborar el medio de cultivo determinaron la presencia de un mayor número de hojas, siendo la mezcla de peat moss y tezontle la que proporcionó los mejores resultados.

4.3. Diámetro de tallo (DT)

El DT es una característica importante en la producción de plántulas de chile poblano. En este experimento se obtuvo diferencia significativa en la interacción O₃xS+F. Es decir que el tipo de agua en combinación con tipo de sustrato + fertilizante afectaron el DT (Cuadro 2). Las plántulas cultivadas en el S1+O (70% de peat moss + 20% perlita + 10% vermiculita + osmocote®) y regadas con agua sin O₃ fue el tratamiento que proporcionó el mayor diámetro de tallo (1.8 mm en promedio).

Las aplicaciones de O₃ en el agua independientemente del tipo de sustrato + fertilización no propiciaron un mayor diámetro de tallo (Figura 4).

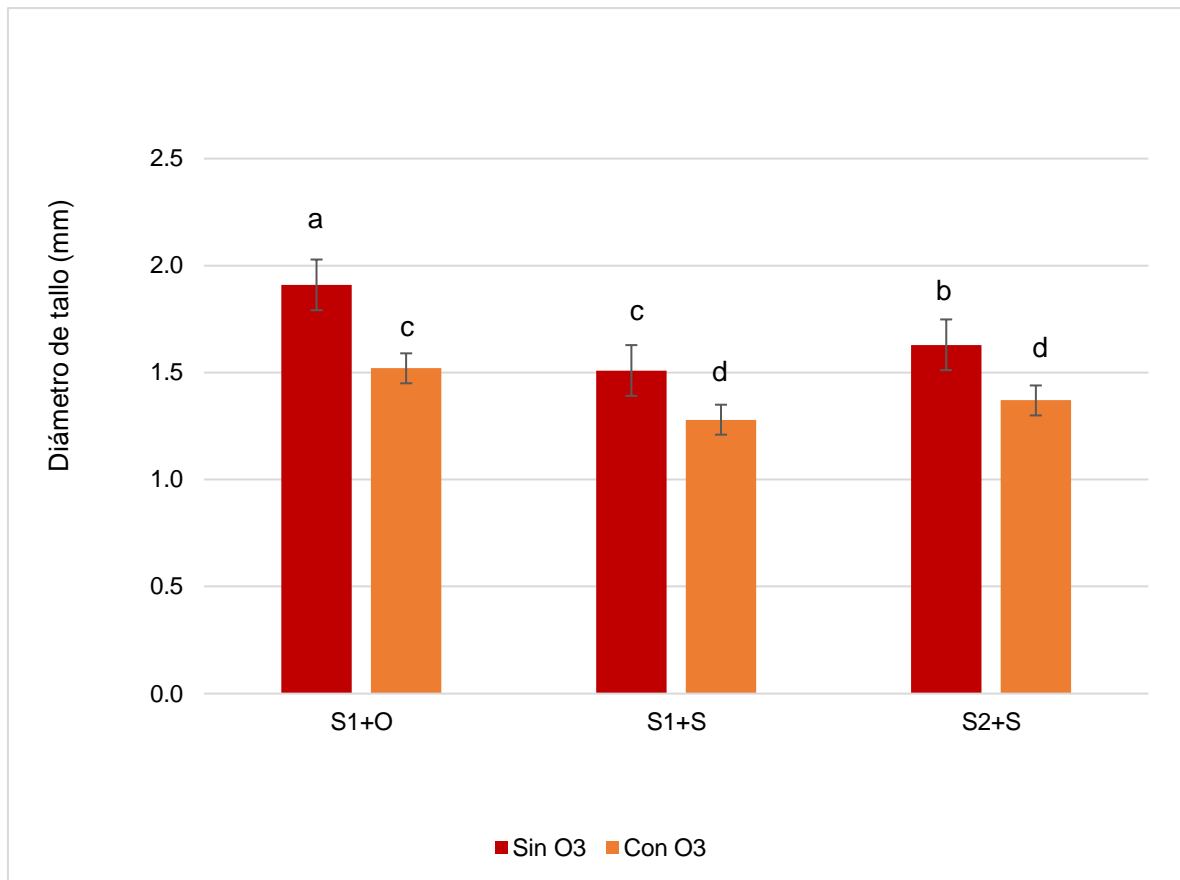


Figura 4. Diámetro de tallo obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

En comparación con los resultados encontrados por García (2020) demuestra que en el cultivo de pepino el DT presentó diferencias significativas a los 30 ddt y de los 60 a 70 ddt, menciona que probablemente se debió a que la aplicación de O₃ se hizo por medio del riego y por lo tanto existió mayor contacto de la base del tallo con este gas como lo señala donde la respuesta a las diferentes tensiones en el ambiente se expresa con cambios morfológicos, fisiológicos y químicos provocados por el O₃.

4.4. Longitud de raíz (LR)

La raíz es una parte importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que brinda soporte, anclaje y determina la absorción de nutrientes. Es por esta razón que en este experimento se evaluaron los tratamientos en esta variable. Al analizar los datos se observó diferencia estadística en la interacción $O_3 \times St+F$, es decir que las combinaciones de ambos factores incrementaron la longitud de la raíz en plántulas de chile poblano. El tratamiento que proporcionó una mayor longitud de raíz (10.4 cm en promedio) fue el tratamiento S2+S donde se preparó el sustrato con 70 % de fibra de coco, 20 % de perlita y 10 % de vermiculita + el 50 % de sales Steiner y fue regada con agua sin O_3 . Mientras que el agua con O_3 , los tratamientos S1+O y S2+S incrementaron ligeramente la longitud de raíz.

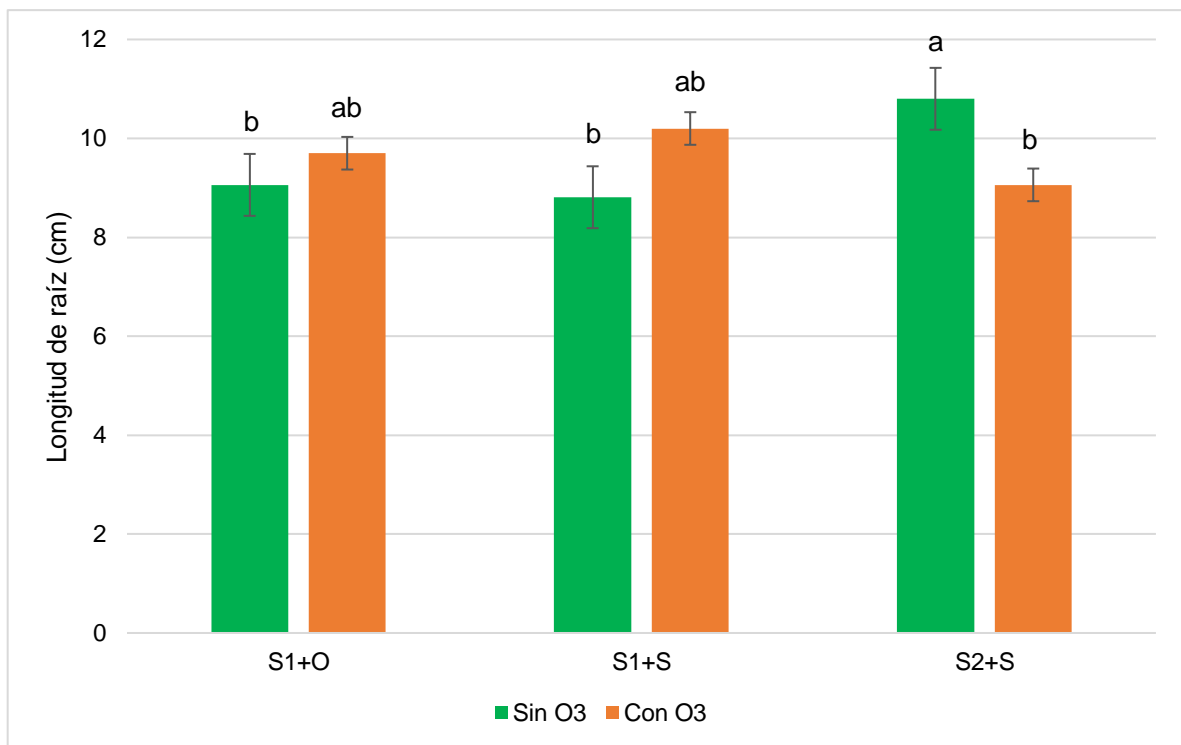


Figura 5. Longitud de raíz obtenida en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O_3 o con O_3 . S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Colunje *et al.* (2021) donde al aplicar O₃ al agua por fertirriego en el cultivo de pimiento propició un incremento en el crecimiento y la biomasa, pero disminuyó la calidad de la raíz y no afectó la longitud de esta.

Por otro lado, Gallegos *et al.* (2020) mencionan que las plantas que crecen en contenedores, principalmente las que duran por largos tiempos, desarrollan mayor número de raíces en el fondo del contenedor y en el espacio entre el sustrato. Además, Moreno *et al.* (2020) señalan que el oxígeno es muy importante en el medio de crecimiento, ya que determina la orientación radicular. El oxistropismo permite a las raíces evitar las zonas del sustrato con bajos niveles de oxígeno, lo que genera la reducción de la competencia entre las raíces por agua, nutrientes y el propio oxígeno, además de generar efectos inmediatos sobre el crecimiento radical y el vástago, lo que implica el desarrollo general de la planta.

Cuadro 2. Valores medios y significancia estadística en las variables altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT) y longitud de raíz (LR).

Factor	AP	NH	DT	LR
Ozono (O₃)				
Sin O ₃	14.721 A	7.361 A	1.681 A	9.572 A
Con O ₃	15.246 A	7.338 A	1.391 B	9.653 A
DMS	0.406	0.220	0.039	0.629
Sustrato+fertilización (St+F)				
S1+O	15.074 B	8.141 A	1.714 A	9.382 A
S1+S	13.528 C	7.233 B	1.396 C	9.503 A
S2+S	16.347 A	6.675 C	1.498 B	9.953 A
DMS	0.595	0.324	0.059	0.923
Significancia				
BLOQUE	*	*	*	*
O ₃	*	Ns	*	ns
St+F	*	*	*	ns
O ₃ xSt+F	*	Ns	*	*
CV	13.071	14.490	12.531	31.604

4.5. Peso fresco de vástago (PFV)

Al analizar los datos en el ANVA y la comparación de medias se obtuvo diferencia significativa en la interacción O_3 x St+F (Cuadro 3). Por lo tanto, se demuestra en la (Figura 5), que evidentemente la mezcla de sustrato S1+O (70 % peat moss + 20 % perlita + 10 % vermiculita + osmocote® y agua con O_3) relativamente mostro mayor rendimiento consiguiendo alrededor de 1.6 g por vástago. Inversamente, en el tratamiento S1+S bajo simultáneamente el efecto hasta por debajo de los 1.0 g, aunque si bien es cierto numéricamente el agua con O_3 fue mejor que el agua sin O_3 , mientras que en la mezcla S2+S = 70 % fibra de coco + 20 % perlita + 10 % vermiculita, el agua sin O_3 tuvo mejor rendimiento en el PFV en comparación con el agua con O_3 .

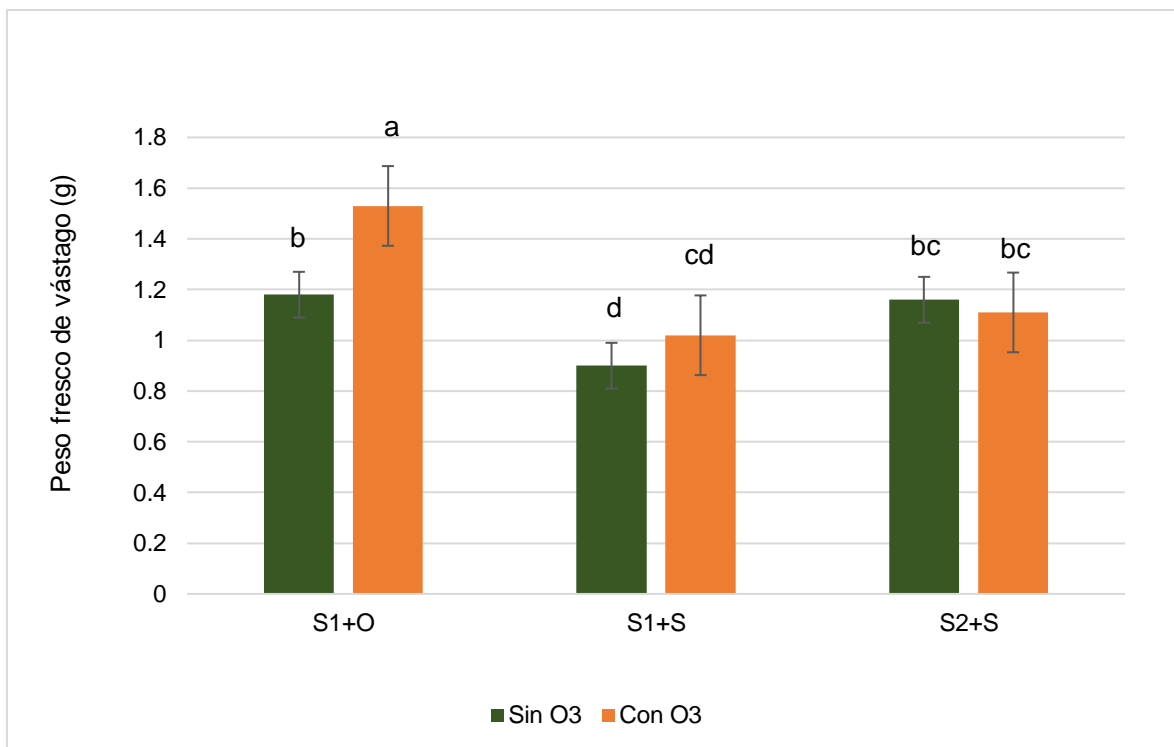


Figura 6. Peso fresco de vástago obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O_3 o con O_3 . S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Estudios realizados por Colunje *et al.* (2021) demostraron que con la aplicación de fertirrigación con agua con O₃ en pimiento incrementó el crecimiento y la biomasa, igualmente señalaron que el aumento de la biomasa se debió a que las plantas obtuvieron mayor captación de N y K. También, mencionan que obtuvieron mayores proporciones de peso de tallo y hoja con una mayor área foliar y un aumento en las concentraciones de clorofila, con mayor síntesis de bioasimilados favoreciendo su crecimiento, por lo que concluyeron que esto se debió a que la planta obtuvo mayores proporciones de absorción de N, P y K.

Al comparar estos resultados se encuentra una similitud, declarando que al incorporar un fertilizante de liberación lenta (Osmocote®) más la aplicación de agua con O₃ se proporciona fuentes de nutrientes lo que ayuda al incremento de la biomasa y el crecimiento de la planta en general.

4.6. Peso fresco de raíz (PFR)

Cabe resaltar la suma importancia de la LR del chile poblano, también es importante conocer su peso, a partir de esto, en esta variable se determinó su comportamiento en fresco dando a conocer en la (Figura 6), que la combinación del O₃xSt+F influyo directamente en el PFR donde en el S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner fue mejor que los demás tratamientos logrando obtener alrededor de 0.45 g por raíz. Por otra parte, en los tipos de sustratos 1 y 2 disminuyo simultáneamente sus efectos obteniendo pesos por debajo de los 0.40 g independientemente del tipo de agua utilizado, aunque si bien es cierto en la S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, la aplicación de agua ozonizada sutilmente fue mejor que el agua potable.

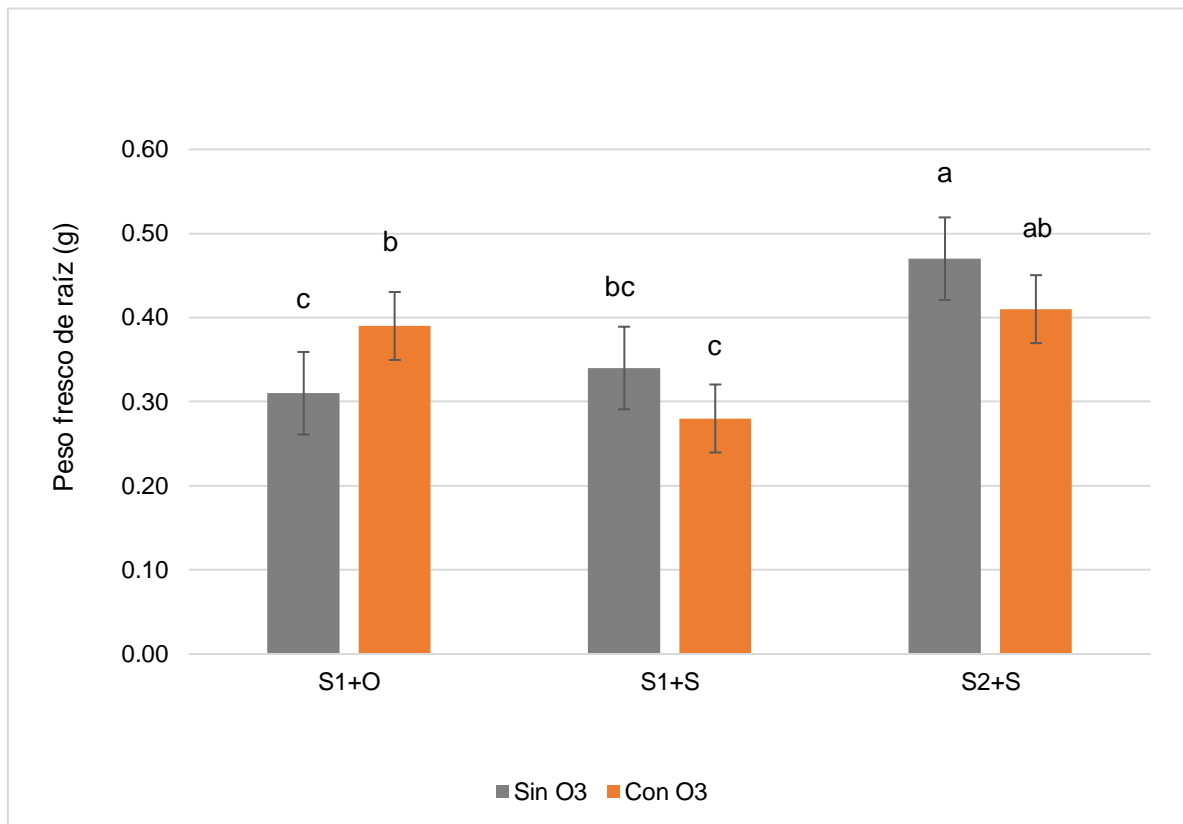


Figura 7. Peso fresco de raíz obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Estos resultados difieren con los reportados por Ruiz *et al.* (2023) en el que definen que la relación de peso de raíz en plántulas de tomate se elevó con el fertirriego y el aporte del agua con O₃.

Asimismo, Vázquez *et al.* (2015) mencionan que en el cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) a partir de la cuarta semana después de la siembra los tratamientos con aplicación de 2.66 y 3.96 mg L⁻¹ de O₃ el crecimiento de la biomasa húmeda de la raíz gradualmente fue mayor que en el testigo sin O₃. La biomasa húmeda de la raíz mostró que existió diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos en la décima semana de crecimiento y que Las plantas de ambos tratamientos con O₃ acumularon entre 21 % y 24 % más biomasa fresca en las raíces que el testigo.

Mientras que, Rodríguez (2007) evaluó el efecto de varias concentraciones de solución nutritiva de Steiner (0, 50, 75, 100 y 125 %) en plántulas de chile manzano, indica que independientemente de las soluciones empleadas se obtienen los mismos resultados en cuanto al PFR. Sin embargo, con la aplicación de 50 % de solución nutritiva de Steiner obtuvo un PFR alrededor de 1.5 g.

4.7. Peso seco de vástago (PSV)

En esta variable se determinó el comportamiento del PSV en diferentes tratamientos y al analizar los datos (Cuadro 3) se observa diferencias significativas en el factor O_3 y en la interacción de los factores St+F. El mejor tratamiento fue el S1+O (peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®) (Figura 7) con la aplicación de agua con O_3 se obtuvo mayor PSV logrando valores de 0.22 g, en comparación con el agua sin O_3 donde solo alcanzó aproximadamente 0.18 g. Estos mismos resultados se obtuvieron en la variable PFV (Figura 5), por ello, es importante mencionar que el agua con O_3 en combinación con el tipo de sustrato más la aportación de los elementos minerales influyeron directamente en el aumento de la biomasa en las plántulas de chile poblano.

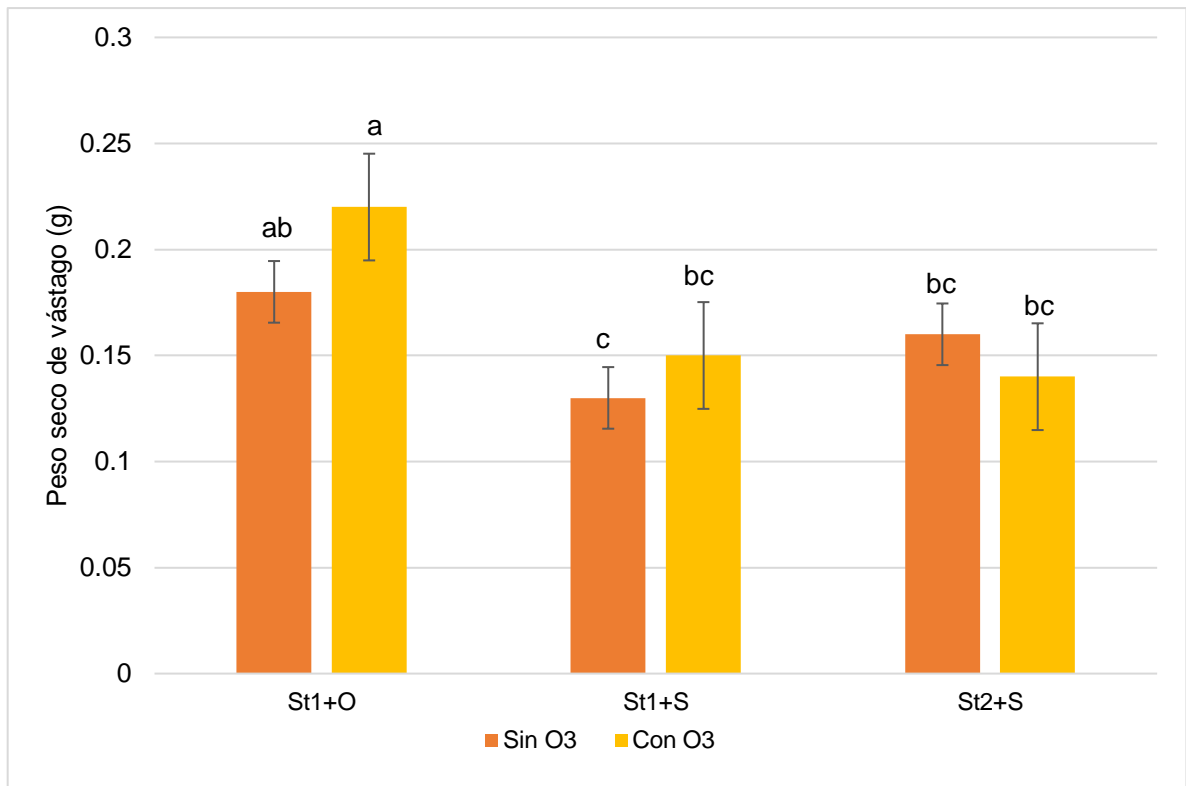


Figura 8. Peso seco de vástago obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Por el contrario, los resultados reportados por Ruiz *et al.* (2023) no concuerdan, ya que observaron un aumento significativo en el peso seco total de las plantas de tomate bajo la fertirrigación con solución nutritiva. Asimismo, también observaron que la proporción del peso de la hoja aumentó significativamente con el fertirriego y el suministro de O₃, mientras que la proporción del peso del tallo no difirió significativamente con el fertirriego y disminuyó significativamente con el suministro de O₃. De igual modo mencionan que la fertirrigación con la solución nutritiva mejoró significativamente los pigmentos de las hojas, los azúcares solubles totales y la concentración de prolina. Sin embargo, el aumento de la concentración de O₃ en la fertirrigación no mostró una tendencia similar entre los factores evaluados, ya que a la mayor concentración (0.54 mg·L⁻¹) aumentó la concentración foliar de clorofila b y (a + b), disminuyó la concentración foliar de prolina.

4.8. Peso seco de raíz (PSR)

Al interpretar los datos de acuerdo al ANVA y la comparación de medias de Tukey, los resultados indican que no existe diferencias significativas en el factor con o sin O₃ y en el tipo de sustrato no influyeron en el PSR, mientras que la interacción de O₃xSt+F influyeron directamente en el PSR. La mejor respuesta se obtuvo en el tratamiento S1+O (peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®) fue uno de los mejores con 0.11 g en promedio.

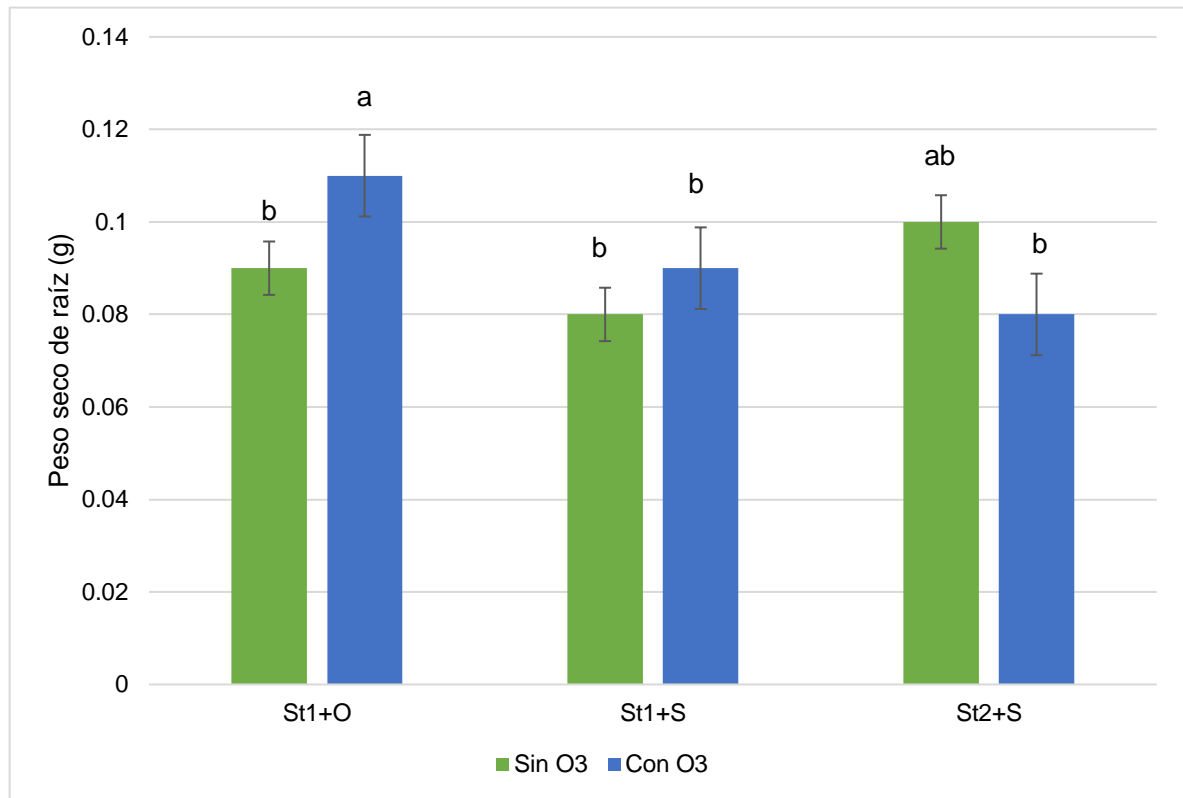


Figura 9. Peso seco de raíz obtenido en la producción de chile poblano cultivada en un sustrato elaborado con diferentes materiales, forma de fertilización y sin O₃ o con O₃. S1+O= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + osmocote®, S1+S= peat moss (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner, S2+S = fibra de coco (70%) + perlita (20%) + vermiculita (10%) + 50% solución Steiner.

Vázquez *et al.* (2015) encontró resultados similares en el cultivo de lechuga cultivado en un sistema hidropónico, señala que la aplicación semanal de O₃ tuvo efecto positivo en la acumulación de biomasa seca en ese órgano, pues incrementó significativamente respecto al testigo (sin aplicación de O₃) a partir de la octava semana de evaluación. La comparación estadística también indicó que 2.66

mg·L⁻¹ de O₃ tuvo efecto mayor, pues en la evaluación final la diferencia en biomasa seca acumulada alcanzó el doble con la dosis menor de O₃ y 78 % con la mayor respecto al testigo.

Mientras que, Lazcano *et al.* (2021) en la evaluación de sustratos y solución nutritiva en plántulas de tomate indican que la variable peso seco de raíz, no se presentaron diferencias significativas por la concentración de la solución nutritiva. En cambio, al evaluar sustratos si se presentaron diferencias significativas, caso similar a lo que se obtuvo en este experimento (Cuadro 3). Los sustratos que propiciaron mayores valores fueron el peat moss y el tezontle en el cual se obtuvo un peso de 0.09 g en relación al peso seco de raíz. Las plántulas que se produjeron en los sustratos vermicomposta y fibra de coco presentaron los valores más bajos para esta variable de 0.03 y 0.01 g. además mencionan que estos sustratos muestran algún tipo de deficiencia física o química que afecta el desarrollo de las plántulas.

Cuadro 3. Valores medios y significancia estadística en las variables peso fresco de vástago (PFV), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de vástago (PSV) y peso seco de raíz (PSR).

Factor	PFV	PFR	PSV	PSR
Ozono (O ₃)				
Sin O ₃	1.081 B	0.374 A	0.774 B	0.443 A
Con O ₃	1.216 A	0.361 A	0.867 A	0.472 A
DMS	0.065	0.031	0.082	0.045
Sustrato + Fertilización (St+F)				
S1+O	1.354 A	0.351 B	1.008 A	0.497 A
S1+S	0.958 C	0.311 B	0.699 B	0.427 B
S2+S	1.135 B	0.442 A	0.753 B	0.447 AB
DMS	0.095	0.045	0.121	0.066
Significancia				
BLOQUE	ns	Ns	ns	ns
O ₃	*	Ns	*	ns
St+F	*	*	*	*
O ₃ x St+F	*	*	ns	*
CV	27.189	40.568	21.255	21.071

V. CONCLUSIÓN

La aplicación de ozono en el agua de riego afecto el crecimiento de plántulas de chile poblano. Los mejores resultados se obtuvieron en las plántulas cultivadas en un sustrato elaborado con el 70 % de peat moss, 20 % perlita y 10 % vermiculita más el fertilizante de lenta liberación osmocote® 14-14-14, siendo las variables con la mejor respuesta el número de hojas, peso fresco de vástago, peso seco de vástago y peso seco de raíz.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo A, P., Cruz H, J., & Taboada G, O. R. 2020.** Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista fitotecnia mexicana*. 43(1). Pp 35-44.
- Abad B, M., Noguera M. P. y Carrión B. C. 2005.** Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En *Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, frutales y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. España. Pp 299-354.
- Almaraz S, J. J., Ferrera C, R., González M, A., González M, R., Orona C, I., Gutiérrez G, U. N., & Preciado R, P. 2022.** Eficiencia fotoquímica y crecimiento de chile poblano inoculados con rizobacteria y hongos micorrízicos arbusculares. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 9(3). 10 p.
- Ascencio C, D. O. 2013.** Evaluación del rendimiento de variedades de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) en campo abierto y en macrotúnel. 44 p.
- Ayala S, A., & Valdez A, L. A. 2008.** El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*.14(2). 7 p.
- Ávila A, R. 2015.** Producción de planta forestal con sustrato alternativo y fertilizantes de liberación controlada (Master's thesis).50 p.
- Bataller M., Cruz, B. y García M. 2010.** El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *CENIC, Ciencias biológicas*, 41(3). 10 p.
- Barrón T, B. U. 2013.** Evaluación de seis mezclas de sustrato alternativos en la producción de plántula de lechuga *Lactuca sativa* L. 38 p.
- Beltrano J. and Giménez D. O. 2015.** Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Pp 34-44.
- Bhattarai S. P., Midmore, D. J y Pendergast, L. 2008.** Rendimiento, eficiencias en el uso del agua y distribución de raíces de soja, garbanzo y calabaza bajo diferentes profundidades de riego por goteo subterráneo y tratamientos de oxigenación en vertisoles. *Ciencia del riego*. 26. Pp 439-450.
- Bhatla S. C. A. Lal, M. y Kathpalia, R. 2018.** Nutrición mineral vegetal. *Fisiología vegetal, desarrollo y metabolismo*. Pp 37-81.
- Berrospe Ochoa, E. A. 2010.** Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). 127 p.

- Berrospe O, E. A., Ordaz C, V. M., Rodríguez M, M. D. L. N., & Quintero L, R. 2012.** Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. Revista Chapingo. Serie horticultura. 18(1). 16 p.
- Blandón J. L. 2008.** Producción de almácigos de café en tubetes en tres sustratos y tres tipos de fertilización. 20 p.
- Bonachela S., Acuña, R. A y Casas, J. 2007.** Factores ambientales y prácticas de gestión que controlan la dinámica del oxígeno en estanques de riego agrícola en una región mediterránea semiárida: implicaciones para las funciones agrícolas de los estanques. Investigación del agua. 41 (6). Pp 1225-1234.
- Cabañas D, A. 2020.** Evaluación de métodos de recirculación de solución nutritiva para el cultivo de jitomate manejado en alta densidad de población. 76 p.
- Cadahía L, C. 2005.** Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-prensa Libros. Madrid. Pp 299-354.
- Cano V, A. 2013.** Germinación en semilla de chile piquín (*Capsicum annuum var aviculare*). 79 p.
- Caro D, E. M., Fernández, F., Miranda, D. J., Vásquez, G. N., Bautista, F. A., & Nunja G, J. V. 2021.** Efecto del agua ozonizada sobre la reducción poblacional de *Escherichia coli* en hortalizas mínimamente procesadas. Peruvian Agricultural Research, 3(2). 6 p.
- Castellanos Z. J. 2004.** Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri. 131-156 pp.
- Capdeville, O. B., & Muehlhoff, E. 2004.** Construcción de un Invernadero. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 34 p.
- Cisneros P, O., Torres T, L, W., Gutiérrez P, L, C., Contreras M, F., González E, T., & Peraza S, S, R. 2007.** Cuantificación de capsaicinoides en chiles cultivados en el estado de Yucatán, México. Química alimentaria.104 (4). Pp 1755-1760.
- Colunje J., García C, P., Moreira J.F., & Lao, M. T (2021).** Efecto de la fertirrigación ozonizada en el cultivo de pimiento en condiciones de invernadero. Agronomía.11 (3). 544 p.
- Cruz C, E., Can C, A., Sandoval V, M., Bugarin M, R., Robles B, A., & Juárez L, P. 2013.** Sustratos en la horticultura. CONACYT. Revista Bio Ciencia. 2 (2). 10 p.

- Díaz L. M., Siles, J. A., Ros, C., Bastida, F., & E. N. 2022.** The effects of ozone treatments on the agro-physiological parameters of tomato plants and the soil microbial community. (812). 10 p.
- Dzul T., & de la Cruz, J. 2008.** Requerimientos nutricionales de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) y su relación con el rendimiento y la calidad del fruto. 152 p.
- Enríquez B, D. H. 2017.** Evaluación de cuatro sustratos en la multiplicación de variedades de Menta (*Mentha piperita* y *Mentha spicata*) (Bachelor's thesis). 37 p.
- Estrada G, M. E. 2012.** Calidad del agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco, durante el periodo Julio-diciembre 2011. 188 p.
- Fajardo R, E., Villegas Torres, O. G., Andrade Rodríguez, M., Sotelo N, H., Perdomo R, F., & Viveros C, J. L. 2022.** Nutrición mineral del chilhuacle en tres etapas fenológicas. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 13(1). 11 p.
- Flores H, A. 2004.** Introducción a la tecnología de semillas. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 160 p.
- Friedman S, P. y Naftaliev, B. 2012.** Un estudio del estado de aireación de los huertos regados por goteo. Gestión del agua agrícola. 115. Pp 132-147.
- Garcés V, C. L. 2021.** Evaluación del efecto de agua ozonizada en la vida útil de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* var. *Sheila*) (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- García G, M. D. 2020.** Ozono aplicado en riego para control de enfermedades fungosas en el cultivo de pepino (Bachelor's thesis). 60 p.
- García M, D. G., Díaz, J. M. B., Hernández, C., & Ruíz, A. 2021.** Efecto del riego ozonizado en desarrollo vegetativo y control de *Cladosporium* sp. en el cultivo de pepino. 14 p.
- García S, E. I., Vargas C, J. M., Palacios R, M. I., & Aguilar Á, J. 2018.** Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. Cuadernos de Desarrollo Rural. 15(81). 24 p.
- Gallegos J., Álvaro, J. E, & Urrestarazu, M. 2020.** El diseño del contenedor afecta el crecimiento de brotes y raíces de plantas vegetales. HortScience. 55 (6). 8 p.
- Gayosso R, S., Borges G, L., Villanueva C, E., Estrada B, M. A., & Garruña H, R. 2016.** Sustratos para producción de flores. Agrociencia. 50(5). 15 p.

- González J, M. Á. 2011.** Combinación de sustratos y solución nutritiva en chile manzano (*Capsicum pubescens*) (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).103 p.
- González M, A. 2016.** Interacción entre bacterias promotoras de crecimiento y hongos micorrízicos en el crecimiento de chile poblano (*Capsicum annuum L.*). 143 p.
- González M, A., Almaraz S, J. J., Ferrera C, R., Rodríguez G, M. D. P., Taboada G, O. R., Trinidad, A., & Arteaga G, R. I. 2017.** Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum L.*). Revista internacional de contaminación ambiental. 33(3), 12 p.
- Graham T., Zhang, P., Woyzbun, E. and Dixon, M. 2011.** Response of hydroponic tomato to daily applications of aqueous ozone via drip irrigation. Scientia Horticulturae. (129). Pp 464–471.
- Gutiérrez E. G., & Muñoz, M. J. 2010.** Evaluación de tres sistemas de producción de almácigos de café (*Coffea arabica var. Caturra*). 18 p.
- Hernández H, B. N. 2019.** Productividad y rentabilidad de chile poblano (*Capsicum annuum L.*) cultivado hidropónicamente bajo condiciones de agricultura protegida (Master's thesis). 110 p.
- Hidalgo O, J. C. 2016.** Evaluación de soluciones nutritivas y frecuencias de aplicación en el crecimiento de plántulas de *Oreopanax ecuadorensis* Seem (Pumamaqui) en la parroquia Ulba, cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). 58 p.
- Huerta P, A. S., Fernández R, I., Ocampo. F. 2007.** Manual de Chile Poblano, Importancia Socioeconómica y Cultural. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Fundación Produce Puebla, A. C. México. 70 p.
- Ishii M., Lam, V. P., Fujiwara, K., & Park, J. S. 2022.** Intermittent root flushing with ozonated water promotes growth of Japanese mustard spinach (*Brassica rapa var. perviridis*) grown in a nutrient film technique hydroponic culture preliminary results. *Ozone: Science & Engineering*. 44(5). Pp 464-472.
- Jaramillo N., Jorge, E., & Díaz, D. 2006.** El cultivo de las crucíferas: brócoli, coliflor, repollo, col china. Colombia.176 p.
- Juárez A, J. P. 2014.** Evaluación del rendimiento de tres variedades de chile poblano (*Capsicum annuum L.*) en macrotúnel. 54 p.
- Juárez L, P., Bugarin M, R., Castro B, R., Sánchez M, A. L., Cruz, E., Juárez R, C. R., & Balois M, R. 2011.** Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. CONACYT. 7 p.

- Kumari S, Agrawal, M., Tiwari, S. 2013.** Impact of elevated CO² and elevated O₃ on *Beta vulgaris* L.: Pigments, metabolites, antioxidants, growth and yield. Environ. Pollut. (174). Pp 279–288.
- Lal A. M., Kathpalia R., Sisodia, R. and Shakya, R. 2018.** Biotic Stress. 1045-1111 pp. In: Bhatla C. S. and Lal A. M. (Eds). Plant Physiology, Development and Metabolism. Springer. 1250 p.
- Lazcano B, M. I., Sandoval C, E., Tornero C, M. A., Hernández H, B. N., Ocampo F, I., & Díaz R, R. 2021.** Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 12(1). 17 p.
- López E, J. 2018.** La producción hidropónica de cultivos. Idesia (Arica). 36(2). 3 p.
- Llerena A., Castaño R., y Joaquín C. 2015.** Relación de la concentración y frecuencia de aplicación de ozono con el nivel de daño de la sigatoka negra en banano. Diseño de un protocolo de riego con agua ozonificada. 16(2). 10 p.
- López R.G.F. 2005.** Ecofisiología de árboles. Universidad Autónoma Chapingo. Pp 218-221.
- López A. Y., & Rosales, C. U. 2022.** Análisis de cadena de valor de diferentes variedades del chile (*Capsicum* spp.), para el desarrollo de un modelo comercial enfocado a la Escuela Agrícola Panamericana. 67 p.
- Luna F, J. A., Cruz C, E., & Can C, Á. 2021.** Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. Terra Latinoamericana. (39). 12 p.
- Macdowall F.D.H., Mukammal, E. I y Cole, A.F.W. 1964.** Correlación directa del ozono que contamina el aire y la mancha climática del tabaco. Revista Canadiense de Ciencias de las Plantas. 44 (5). 8 p.
- Maestre V, J. F., & Martínez Á, V. 2010.** Efectos de los sistemas de riego por goteo en la recuperación de oxígeno disuelto del agua hipóxica. Gestión del agua agrícola. 97 (11). Pp 1806-1812.
- Magdaleno V, J. J., Peña L, A., Castro B, R., Castillo G, A. M., Galvis S, A., Ramírez P, F., & Hernández H, B. 2006.** Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura. 12(2). 8 p.
- Marfá O., Cáceres, R. Y Gurí, S., 2004.** Oxifertigación: Una nueva Técnica para Cultivos sin suelo. En: IX Simposio Internacional sobre Cultivo sin Suelo e Hidroponía. ISHS, Working Group on Soiles Culture-ISOSC y el Departamento de Producción Vegetal de Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. 25 p.

- Martínez A, N., Castro B, R., Pérez Grajales, M., & Rodríguez Pérez, J. E. 2023.** Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. *grossum sendt*), bajo invernadero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 7(1). 21 p.
- Martinez S. A. and Aguayo. E. 2019.** Effect of irrigation with ozonated water on the quality of capsicum seedlings grown in the nursery. (221). Pp 547-555.
- Martínez S. G. 2019.** Agua ozonizada, antecedentes, usos en medicina y bases preclínicas. *Revista Española de Ozonoterapia*. 9(1). 27 p.
- Mendoza A, J. 2013.** Evaluación de rendimiento de fruto y calidad de semilla de tres variedades de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) en Moctezuma, San Luis Potosí. 46 p.
- Molina M, E. 2022.** Optimización del riego con agua ozonizada en pimiento mediante su combinación con el uso de bioestimulantes. 44 p.
- Moreno R, M. D. J., Pineda P, J., Colinas L, M. T., & Sahagún C, J. 2020.** El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.11(4). 13 p.
- Muñoz J, Z. D. P. 2007.** Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Valdivia (CHL): Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Austral de Chile. 58 P.
- Parra T, S., González T, G. E., Rubio C, W., & Hernández V, S. 2016.** Relación NO_3^-/K^+ en la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de pepino hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7(6). 12 p.
- Pérez A, A. D. J. 2023.** Caracterización de los efectos de inductores químicos en la tolerancia y expresión de genes durante la interacción de *Capsicum spp.* y *Phytophthora capsici*. (master's thesis). Centro de investigaciones biológicas del noroeste, sc). 125 p.
- Pérez C, L. J. 2016.** Evaluación de dos componentes de calidad del chile poblano criollo en dos sistemas de producción en el Alto Atoyac, Puebla (Master's thesis). 68 p.
- Peykanpour E., Ghehsareh, A. M., Fallahzade, J. y Najarian, M. 2016.** Efectos interactivos de la salinidad y el agua ozonizada en los componentes de rendimiento del pepino. *Planta, Suelo y Medio Ambiente*. 62 (8). 6 p.
- Puerta C. E., Russián, T., & Ruiz, C. A. 2012.** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(2). 9 p.

- Ohashi-Kaneko, Keiko; Yoshii, Mari; Isobe, Takeshi; Park, Jong-Seok; Kurata, Kenji; Fujiwara, Kazuhiro. 2009.** Nutrient Solution Prepared with Ozonated Water does not Damage Early Growth of Hydroponically Grown Tomatoes. *Ozone: Science & Engineering*. 31(1). 8 p.
- Quintero M. F., González, C. A., & Guzmán, J. M. 2011.** Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. Flórez R., VJ (ed). *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. 30 p.
- Rodríguez L, M. D. 2021.** Análisis del comportamiento de las variables e indicadores de competitividad del chile verde en el mercado mundial. 81 p.
- Rodríguez J., Peña O. B. V., Gil M. A., Martínez C. B., Manzo, F., Salazar L. L. 2007.** Rescate in situ del chile "poblano" en Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 9 p.
- Rodríguez M, G. 2007.** Efecto del Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el desarrollo de plántulas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 41 p.
- Rodríguez M. R., E. G. Alcantar G., G. Iñiguez C., F. Zamora N., P. M. García L., M. A. Ruiz L. y E. Salcedo P. 2010.** Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*. 35 (7). 10 p.
- Ruiz E, A., Garcia C, P., Llanderal, A., Colunje, J., Moreira, J. F., & Lao, M. T. 2023.** Physiological and Nutritional Responses to Ozone Application in Tomato Seedling Plants. *Agriculture*.13(1). 17 p.
- Santos B. M., & Obregón O, H. A. 2013.** Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Medios de Siembra y Contenedores: HS1216. *EDIS*. (4). 6 p.
- Santo T, E. A. O. 2013.** Efectos del agua ozonizada sobre microorganismos patógenos y alterantes de frutas y hortalizas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 4(1). 13 p.
- Servicio de información Agroalimentaria y pesquera (SIAP) 2022.** Panorama Agroalimentario. Disponible en [https:// https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035](https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035). Consultado el 26/05/ 2023.
- Tucuch H, C. J., Alcántar G, G., Ordaz C, V. M., Santizo R, J. A., & Larqué S, A. 2012.** Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones NH₄⁺/NO₃⁻-y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*. 30(1). 7 p.
- Urbina S, E., Cuevas J, A., Reyes A, J. C., Alejo S, G., Valdez A, L. A., & Vázquez G, L. M. 2020.** Solución nutritiva adicionada con NH₄⁺ para producción hidropónica de chile huacle (*Capsicum annum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(3). 8 p.

- Urrestarazu M., Mazuela P.; Ventura, F. y Guillén, C. 2006.** Beneficios de la aplicación de oxígeno en cultivos sin suelo. *Agrícola Vergel: fruticultura, horticultura, floricultura Vida rural*. 292. Pp 195-200.
- Vázquez Y, J. A., Peña V, C. B., Trejo, C., Villegas B, A., Benedicto V, S., & Sánchez G, P. 2015.** Promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con dosis subletales de ozono aplicadas al medio de cultivo. *Revista fitotecnia mexicana*. 38(4). 9 p.
- Vence L. B. 2008.** Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del suelo*. 26(2). 10 p.
- Veliz L. E., Llenez, O. J. G., Asela, F. L., & Betaller, V. M. 2008.** Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 40(1). 11 p.
- Villegas T, O. G., Sánchez G, P., Baca C, G. A., Rodríguez M, M. N., Trejo, C., Sandoval V, M., & Cárdenas S, E. 2005.** Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*. 23(1). 9 p.