



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ



POSGRADO DE INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES

**“EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO
(*Capsicum annuum* L.) UTILIZANDO DOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN BAJO INVERNADERO”**

ALEJANDRO PALOMAR DE SANTOS

TESIS

PRESENTA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

SALINAS DE HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: "Evaluación del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) utilizando dos sistemas de producción bajo invernadero" realizada por el alumno Alejandro Palomar de Santos, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

Dr. Adrián Gómez González



Consejero

Dr. E. Javier García Herrera



Asesor

Dr. Ismael Hernández Ríos



Asesor

Dr. Catarino Perales Segovia



Asesor externo

Salinas de Hidalgo, SLP. México, septiembre del 2022

Evaluación del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) utilizando dos sistemas de producción bajo invernadero

Alejandro Palomar de Santos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

En México, dentro de la gran variedad de hortalizas, el chile jalapeño adquiere notable interés a nivel socioeconómico por su alta demanda de mano de obra (genera empleos), su amplio consumo a nivel mundial y buena rentabilidad. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el desarrollo fenológico del cultivo y el rendimiento potencial bajo dos sistemas de producción. Para la evaluación se estableció el cultivo de chile jalapeño en los sistemas: hidroponía y fertirrigación. A los dos sistemas se les dio el mismo manejo. Se probaron tres concentraciones de solución nutritiva (baja, media y alta), tres densidades de plantación (2, 3 y 4 plantas por metro lineal) y dos tipos de poda (con y sin) en hidroponía y fertirriego para determinar la producción de ambos sistemas. En el experimento se utilizó chile jalapeño híbrido (variedad PS 11435807 de Seminis®) de crecimiento determinado. Las variables que se midieron fueron: altura de la planta, número de flores, número de frutos, peso fresco, peso seco de la planta y peso fresco de fruto. El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completamente al azar con los tratamientos de un arreglo factorial 3x3x2, y tres repeticiones. Se considera que la técnica de hidroponía es más eficiente en la producción que la de fertirrigación, utilizando una concentración de nutrimentos alta, una densidad de plantas alta y sin poda.

Palabras clave: Hortalizas, fertirrigación, concentración y nutrimentos.

ABSTRACT

Evaluation of the crop of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) using two production systems

Evaluación del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) utilizando dos sistemas de producción

Alejandro Palomar de Santos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

In Mexico, within the great variety of vegetables, the jalapeño pepper acquires notable interest at the socioeconomic level due to its high demand for labor (it generates jobs), for its wide consumption worldwide and its good profitability. The objective of this research was to evaluate the phenological development of the crop and the potential production under two production systems. In the present study, the crop of jalapeño pepper was established in two systems: hydroponics and ferti-irrigation. Both systems were subjected to the same handling practices. Three nutrient solution concentrations (low, medium and high), three planting densities (2, 3 and 4 plants per linear meter) and two pruning types (with and without) were tested to determine the production in both production systems. A determined-growth type hybrid jalapeño pepper (variety PS 11435807 from Seminis®) was used in this study. The analyzed variables were: plant height, number of flowers, number of fruits, fresh and dry weight of plants, and fruit fresh weight. The experimental design used was a completely randomized blocks with a 3 x 3 x 2 factorial arrangement of treatments, and three replications. It is considered the hydroponics technique is more efficient than ferti-irrigation, using a high concentration of nutrients, a high density of plants and without pruning.

Keywords: Vegetables, fertigation, concentration and nutrients.

DEDICATORIAS

A **mis padres** porque siempre han sido el motivo de superarme y ser alguien en la vida.

A **mis hermanas** les dedico este trabajo que realicé en esta etapa de mi formación y porque siempre me han apoyado moralmente.

A **mi novia** por acompañarme en la parte final de mi investigación, también por su cariño y motivación a terminar esta etapa importante en mi vida.

A **mis amigos** porque siempre que los necesitaba estaban para ayudarme y escucharme.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

Al **Colegio de Postgraduados** en especial al campus San Luis Potosí por ser la institución que me aceptó como estudiante.

A los integrantes de mi **Consejo particular** por ser las personas que me orientaron para llevar a cabo mi investigación.

Al **personal de apoyo y administrativo** del colegio de postgraduados en especial a los trabajadores de la huerta por su amistad y apoyo cuando los necesitaba.

Al **Dr. Adrián Gómez González** por ser la persona que fungió como Consejero de mi trabajo de investigación, también fue la persona que creyó en mí para realizar este grado académico en mi vida.

Al **Dr. Francisco Javier Morales Flores** por su amistad y apoyo en la parte estadística ya que esta fue una etapa muy importante en mi trabajo de investigación.

GRACIAS

Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Origen	4
4.2 Importancia a nivel mundial.....	4
4.3 Sistema de producción tradicional	5
4.4 Clima adecuado para el chile jalapeño	6
4.5 Densidad de plantación	6
4.6 Variedades de chile jalapeño.....	6
4.10 Hidroponia.....	8
4.11 Solución nutritiva	8
4.12 Sustrato.....	9
4.13 LITERATURA CITADA	9
V. CAPITULO 1. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA APLICADA EN FERTIRRIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DE CHILE JALAPEÑO (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	14
5.1 RESUMEN	14
5.2 INTRODUCCIÓN	15
5.3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.5 CONCLUSIONES.....	27
VI. CAPITULO 2. EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (<i>Capsicum annuum</i> L) CON HIDROPONIA EN INVERNADERO	31
6.1 RESUMEN	31
6.2 INTRODUCCIÓN	32
6.3 MATERIALES Y MÉTODOS	33
6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.5 CONCLUSIONES.....	42
6.6 AGRADECIMIENTOS.....	43

6.7 LITERATURA CITADA	43
VII. COMPARACIÓN DE LOS DOS SISTEMAS ESTUDIADOS	46
VIII. CONCLUSIÓN GENERAL	47
IX. BIBLIOGRAFIA GENERAL.....	48
X. ANEXOS	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Solución nutritiva inicial.....	18
Cuadro 2. Solución nutritiva final.	18
Cuadro 3. Desarrollo vegetativo y reproductivo de plantas de chile jalapeño.	21
Cuadro 4. Rendimiento total de chile jalapeño por hectárea.....	26
Cuadro 5. Correlaciones de las variables del desarrollo vegetativo y reproductivo.	27
Cuadro 6. Solución nutritiva inicial (ppm).	35
Cuadro 7. Solución nutritiva final (ppm).....	35
Cuadro 8. Desarrollo vegetativo y reproductivo de plantas de chile en hidroponia.	38
Cuadro 9. Número de flores acumuladas de plantas de chile jalapeño por efecto de poda, bajo hidroponia.	39
Cuadro 10. Efecto de la solución nutritiva, densidad y poda, en el diámetro de tallo de plantas de chile jalapeño, bajo hidroponia.	40
Cuadro 11. Peso fresco de plantas de chile jalapeño por efecto del manejo de poda, bajo hidroponia.	41
Cuadro 12. Efecto de la solución nutritiva, densidad y poda en el rendimiento acumulado de chile, bajo hidroponia.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diámetro de tallo de plantas de chile bajo diferentes densidades.....	22
Figura 2. Peso seco de plantas de chile bajo diferentes concentraciones de fertilizantes en las soluciones nutritivas.	23
Figura 3. Peso seco de plantas de chile bajo diferentes densidades.	24
Figura 4. Peso seco de plantas de chile con poda y sin poda.	24
Figura 5. Rendimiento total de chile por tratamiento. Medias con la misma letra no presentan diferencia ($P>0.05$).	25
Figura 6. Producción de chile con la concentración alta de solución nutritiva. Medias con la misma letra no representan diferencia ($P>0.05$).	26

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico, las actividades productivas, la tala de bosques y el uso de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, han ocasionado un incremento en el CO₂ atmosférico, contribuyendo con el efecto invernadero y el calentamiento global. Se estima que la población mundial actual es de aproximadamente 7,625 millones de habitantes; la demanda por los recursos naturales y la producción de alimentos de una manera más eficiente es hoy más que nunca necesaria (Caballero *et al.*, 2007).

En este sentido, la agricultura protegida muestra los elementos necesarios para evitar una mayor presión en los recursos suelo y agua, ya que tiene herramientas tecnológicas como el fertirriego y la hidroponia que hacen más eficiente la producción de hortalizas. En México, dentro de la gran variedad de hortalizas, el chile jalapeño adquiere interés en diferentes rubros; a nivel socioeconómico, el jalapeño es importante por su amplio consumo, alta rentabilidad y gran demanda de mano de obra (Ramírez-Ibarra *et al.*, 2017).

El chile, además de ser un producto de presencia mundial, es un cultivo originario de nuestro país (SIAP, 2020). El chile jalapeño es originario de Xalapa del estado de Veracruz, lugar de donde han obtenido su nombre (Álamo, 2017). Los estados más productores de chile son: Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco. La producción de chile anual en el país es de 1.9 millones de toneladas, de las cuales, 700 mil toneladas son destinadas al comercio exterior (Castellón-Martínez *et al.*, 2012). México es el primer exportador de chile verde a nivel mundial y el sexto de chile seco, los principales clientes son Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania.

En México, el chile jalapeño es cultivado de forma tradicional con ciertas características, que en algunos casos no dan los mejores resultados. Se considera que empleando agricultura protegida con técnicas de fertirriego e hidroponia se tendrá una mayor producción y con mejor calidad, haciendo un uso más eficiente del recurso agua y suelo por la intensidad a que se produce. Aumentar la

producción en fertirriego es de suma importancia porque se reducen costos de producción; y el productor hará un uso óptimo de los recursos disponibles. Uno de esos recursos de mayor importancia es la fertilización del cultivo, seguido de poda y densidad de plantación adecuada en el cultivo, para tener altos rendimientos y buena calidad, que cumpla con los requisitos que exige el mercado (Macías-Duarte *et al.*, 2012).

Al cultivo de chile se le debe aplicar de manera correcta una solución nutritiva adecuada, seguido de un manejo apropiado; de no ser así se tendrían resultados desfavorables, no tan diferentes al sistema de producción convencional. En este sentido, se consideraba que, en el presente estudio, por el manejo que se le dio al cultivo, se tendría una mayor producción en verde, superior a los que se han obtenido hasta la actualidad en el sistema tradicional en suelo con riego rodado.

En la presente investigación se plantea innovar en los sistemas de producción de chile, a través de establecer el cultivo con diferentes concentraciones de solución nutritiva en hidroponia y fertirriego bajo invernadero, con la finalidad de manejar altas densidades y un manejo de poda para aumentar los rendimientos de este cultivo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar dos sistemas de producción de chile (hidroponia y fertirriego), probando concentraciones de una solución nutritiva, densidades y manejo de poda, en condiciones de invernadero.

La investigación se expone iniciando con una introducción general, en donde se habla de los sistemas de producción, se establece un marco de referencia respecto a temas como el cultivo de chile, la agricultura protegida y los sistemas de producción en hidroponia y fertirriego.

Enseguida se tiene un apartado donde se redacta de manera puntual el objetivo general del trabajo y los objetivos específicos que se buscan cumplir, así como la hipótesis sobre la cual se conduce la investigación.

Después se presenta el Capítulo 1, el cual trata lo referente a la producción de chile en fertirriego bajo condiciones de invernadero. Posterior se pasa al Capítulo 2, donde se trata lo referente a la producción de chile en hidroponia, también bajo

condiciones de invernadero. Por último, se tiene un apartado donde se hace una comparación de los dos sistemas estudiados y una conclusión general derivada de la investigación.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desarrollo y el rendimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con base en la aplicación de diferentes concentraciones de solución nutritiva, la densidad de plantas y poda, en dos sistemas de producción en invernadero.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el rendimiento de las plantas de chile jalapeño en hidroponía y fertirriego.
2. Identificar la concentración de la solución nutritiva (alta, media y baja) que mejor se relaciona con el rendimiento obtenido en hidroponía y fertirriego, en invernadero.
3. Determinar la densidad de plantas y el tipo de poda que requiere el chile jalapeño cultivado en hidroponía y fertirriego, en invernadero.

III. HIPÓTESIS

El sistema de producción de chile jalapeño en hidroponía es más eficiente que el de fertirriego, se considera que con la técnica de hidroponía y fertirriego se elevan los rendimientos, utilizando una concentración de nutrimentos alta, una densidad de plantas alta y sin poda.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen

Para las culturas de Mesoamérica el chile, calabaza, maíz y frijol fueron la base de la alimentación. En el caso del chile, se dice que este fue su lugar de origen y en donde se considera fue domesticado. Por los descubrimientos arqueológicos, en México se encontraron restos de cultivos de chile que datan de hace 1000 años y se estima que en el año 5,500 a.C. ya eran cultivados por los Olmecas (Tort & Botta, 2015). Del náhuatl chilli o xilli que significa chile se refiere a todo fruto clasificado del género *Capsicum*, en Sudamérica lo llamaron “ají” (Aguirre-Hernández & Muñoz-Ocotero, 2015).

Díaz (2019) menciona que existen 31 especies reconocidas del género, 26 son silvestres y cinco son cultivadas, las cuales son las siguientes:

C. annuum L. Es la especie más rentable, están los chiles: Poblano, Jalapeño y Campana.

C. chinense Jacq. Incluye pimientos muy picantes como Chile Habanero.

C. frutescens L. El más conocido es el Chile Tabasco.

C. baccatum L. Aquí se encuentran Chile gota de Limón.

C. pubescens Ruiz et Pav. Son los tipos: Rocoto y Manzano.

4.2 Importancia a nivel mundial

En las últimas décadas la producción de chile jalapeño ha incrementado en un 25%, lo que lo posiciona entre los cultivos más importantes en la economía a nivel mundial; además es una planta que es cultivada en climas cálidos y templados. China (17.5 MT), México (2.7 MT), Indonesia (2.0 MT) y España (1.1 MT) fueron los países que tienen una producción más alta de chile fresco, mientras que India (1.4 MT) fue la producción de chile más alta en seco. A nivel nacional se tiene una producción de 34.5 millones de toneladas (MT) de chile fresco y 3.9 (MT) de chile

seco (Baenas *et al.*, 2019). El chile jalapeño está representado en la dieta de la comida mexicana. Es consumido de diferentes formas en verde, en seco y ahumado. El consumo per cápita en fresco es de 7 a 9 kg por año.

Un creciente mercado para el jalapeño es como chile chipotle, tanto en México como en USA, este es cuando se pone rojo en su último estado de maduración y se somete a un proceso de ahumado. Este proceso involucra el uso de leña después de que ya este seco y antes haber estado rojo por un periodo de 6 días; este proceso se da manteniendo una temperatura de 65-75 °C (Moreno-Escamilla *et al.*, 2015). Tomando en cuenta que la población mundial ha crecido a un ritmo muy acelerado, se estima que será de 2,400 millones de personas más en el 2050. Por lo que es necesario optimizar los recursos para cumplir con los requerimientos alimenticios de la población (Ramírez-Ibarra *et al.*, 2017).

4.3 Sistema de producción tradicional

La agricultura tradicional está limitada a la aplicación de tecnologías y métodos modernos de producción, la cual es utilizada para el auto consumo. También está orientada al mercado con el fin de obtener ingresos económicos, sin embargo, se tiene una producción muy baja (Sánchez-Olarte *et al.*, 2015).

La forma tradicional del cultivo de chile jalapeño, consiste en la siembra a cielo abierto con trabajo mínimo de labranza con un sistema de riego rodado, deshierbe de forma manual, en ocasiones sin control de plagas y enfermedades, con una fertilización orgánica (Báez-Iracheta & Orozco-Hernández, 2015).

México es el segundo productor de chile del mundo con una superficie de 143,465 ha, produciendo 2.73 millones de toneladas (Maraña-Santacruz *et al.*, 2018).

El manejo en la forma tradicional inicia con la siembra en almácigo, realizada en espacios pequeños para tener un mayor aprovechamiento de semilla y aumentar el porcentaje de germinación; después se prosigue al trasplante, para lo cual se utilizan plantas que tengan una altura de 10 a 12 cm, cuando tienen de 4 a 5 hojas verdaderas. Los riegos durante la vida de las plantas de chile jalapeño, deben ser

frecuentes. El aporque sirve para dar estabilidad a la planta amontonando tierra alrededor del tallo principal; al realizar esto arrancamos las malas hierbas y así se favorece su mejor desarrollo (Báez-Iracheta & Orozco-Hernández, 2015).

4.4 Clima adecuado para el chile jalapeño

Para el cultivo, es necesaria una temperatura media de 20°C, sin demasiados cambios bruscos y con una tasa de humedad no demasiado alta. Requiere gran cantidad de luz, sobre todo durante el primer período de crecimiento, después de la germinación. Todos estos requerimientos hacen que sean cultivados en invernaderos, donde el manejo de las condiciones ambientales es más controlable (Martínez, 2012).

4.5 Densidad de plantación

Las densidades de siembra a campo abierto y en invernadero, son variables y fluctúan entre 1, 4 hasta 6 plantas por m². Según estudios, se ha encontrado que el crecimiento y producción del cultivo, está determinado únicamente por la distancia entre plantas, sin efecto de la distancia entre hileras (Soto-Bravo *et al.*, 2019).

4.6 Variedades de chile jalapeño

México es el país del mundo con la mayor variedad genética de *Capsicum*, pero curiosamente no es el productor más importante. La baja producción se debe principalmente a que en casi todas las regiones productoras de chile se obtienen muy bajos rendimientos. Existen más de 40 variedades, en algunos estados del país se destinan superficies al cultivo del chile para deshidratarlo, y en otros se destinan principalmente para producto fresco y encurtido (Inforural, 2012).

Existen muchas variedades de chile jalapeño, de las cuales se destacan, por su escala de producción, las siguientes: Don Julio, Euforia, El forajido, Autlán BL5 y HMX8665 (Beltrán-Morales *et al.*, 2016).

4.7 Agricultura protegida

La agricultura protegida es aquella en la que los cultivos se encuentran resguardados con cubiertas plásticas, malla sombra u otro tipo de material que permiten tener un control de condiciones ambientales como la temperatura, humedad y luz (SADER, 2020).

Teniendo dichas condiciones ayuda a proteger los cultivos de fenómenos como heladas, lluvias, sequías o plagas; esto evita pérdidas en los cultivos y tiene un aumento en la producción.

Por lo tanto, producir bajo agricultura protegida tiene grandes beneficios como (SADER, 2020):

- Ahorro de agua.
- Generación de más empleos.
- Mayor disponibilidad de alimentos.
- Productos con mayor calidad.
- Un mejor control de la producción.
- La oportunidad de cultivar productos fuera de sus respectivas temporadas.
- Mayores ganancias para los productores.

En México, algunos de los productos que más se producen bajo este sistema de cultivo son el tomate rojo, fresa, pepino, chile, frambuesa, arándano y rosas (SADER, 2020). Existen 19,985 unidades de cultivo protegido, las cuales se pueden clasificar en diferentes tipos: invernadero 66 %, macrotúnel 11 %, casa sombra 10 %, microtúnel 5 %, techo sombra 5 % y pabellón 3 % (SIAP, 2013).

4.8 Tecnología en invernaderos

La implementación de tecnología en los invernaderos influye en las condiciones ambientales generadas en el interior del invernadero, reflejadas en el aumento de

la producción. Según la cantidad de factores que se controlen en los invernaderos, éstos se clasifican en niveles de acuerdo al uso de tecnología: bajo, medio y alto. Los invernaderos de una alta tecnología son los que ofrecen condiciones óptimas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono. Para lograrlo se utilizan películas plásticas, sustratos y sistemas de automatización climática (Ortega-Martínez *et al.*, 2017).

4.9 Fertirriego

El fertirriego es una técnica que permite dosificar en forma oportuna el agua y los nutrimentos que requieren las plantas durante su ciclo de cultivo en suelo. Es una opción viable en relación con el manejo eficiente del agua y los nutrimentos, porque en el agua ya van los fertilizantes y en hortalizas se hace por medio de sistemas de riego presurizado. Se considera una técnica que bien manejada puede garantizar altos rendimientos y calidad de las cosechas. El chile jalapeño, como todas las demás especies de interés agronómico, requiere de cantidades específicas de agua y nutrimentos para alcanzar altos rendimientos (Alonso *et al.*, 2002).

4.10 Hidroponia

Los cultivos en hidroponia son una modalidad en el manejo de plantas que permite el desarrollo del cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas como luz, temperatura, agua y nutrientes. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. Los rendimientos de los cultivos hidropónicos pueden duplicar (o más aún) los de los cultivos en suelo (Beltrano & Giménez, 2015).

4.11 Solución nutritiva

La nutrición de los cultivos, utilizando soluciones nutritivas, es la clave del éxito en los cultivos hidropónicos (Tucuch-Hass *et al.*, 2011). La concentración de solución nutritiva es un factor influyente en el número y tamaño de frutos. Sin embargo, las

deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, hierro y zinc, en el género *Capsicum* reducen la floración y la fructificación, también, en el caso particular del fósforo y potasio, si se tiene deficiencia puede ocasionar que la semilla no desarrolle (Martínez *et al.*, 2019). En general la baja nutrición en las plantas tiene efectos negativos en los cultivos, lo cual se ve reflejado en el tamaño y peso del fruto, teniendo una baja producción.

4.12 Sustrato

En los sistemas hidropónicos, la solución nutritiva y el sustrato tienen una función importante en el desarrollo de las plantas (Tucuch-Hass *et al.*, 2011).

Un sustrato es un medio sólido e inerte, que protege y da soporte a la planta para el desarrollo de la raíz en las hortalizas y flores, permitiendo que la “solución nutritiva” se encuentre disponible para su desarrollo. En cierto modo, es el que sustituye al suelo (Benavides, 2019) y es otro de los factores determinantes en los sistemas hidropónicos. Una de las causas que impulsaron su uso fue la disminución de pérdidas de cosechas por patógenos del suelo (Tucuch-Hass *et al.*, 2011). En México, a la fibra de coco también se le conoce como turba de coco, y es un producto natural que se realiza de la cáscara de coco, que se emplea como sustrato en producciones agrícolas. Para ser utilizada como sustrato pasa por un proceso de trituración en el que se separan las fibras más largas en un rango de partículas deseadas para nuestros cultivos hortícolas (Chen, 2020).

4.13 LITERATURA CITADA

Aguirre-Hernández, E. & Muñoz-Ocotero, V. (2015). El chile como alimento. *Revista ciencia*, 16-23.

Álamo, A. (2017). Jalapeño, todo el sabor de México. <https://www.bonviveur.es/gastroteca/jalapeno-todo-el-sabor-de-mexico>

Alonso-Báez, M., Tijerina-Chávez, L., Sánchez-García, P., Aceves-Navarro, L. A., Escalante-Estrada, A. J., & Martínez-Garza, A., (2002). Producción de chile

- jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. *Terra Latinoamericana*. 20(2), 209-215.
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annuum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*. 274, 872-885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Báez-Iracheta, F. & Orozco-Hernández, G. (2015). Paquete Tecnológico para Chile jalapeño. <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0003Chile1.pdf>.
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 3(7), 143-149.
- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. *EDULP*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benavides, M. (2019, mayo 24). Conoce los tipos de sustratos para tu cultivo hidropónico. *Ecosiglos*. <https://ecosiglos.com/conoce-los-tipos-de-sustratos-para-tu-cultivo-hidroponico/>.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*. 8(10), 2-12.
- Castellón-Martínez, É., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vera-Guzman, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista fitotecnía mexicana*. 35(SPE5), 27-35.

- Chen, J. L. (2020). Fibra de coco: un componente de los medios de cultivo. *Horticulture*. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/fibra-de-coco-un-componente-de-los-medios-de-cultivo/>.
- Díaz, L. P. (2019). Diversidad genética, estructura poblacional y relaciones en una colección de razas terrestres de pimienta (*Capsicum spp.*) del centro español de diversidad reveladas por genotipado por secuenciación (GBS). *Horticulture research*. 4(8), 23-29.
- Inforural. (2012, Julio 4). Chile, producción nacional. *Inforural*. <https://www.inforural.com.mx/chile-produccion-nacional/>
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., & Robles-Contreras, F. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia*. 14(3), 32-38. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.127>
- Maraña-Santacruz, J. Á., Castellanos-Pérez, E., Vázquez-Vázquez, C., Martínez-Ríos, J. J., Trejo-Escareño, H. I., & Gallegos-Robles, M. Á. (2018). Estiércol solarizado y dos métodos de riego en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 50(2), 105-117.
- Martínez, J. (2012, Julio 10). Chile, siembra y cosecha. *Inforural*. <https://www.inforural.com.mx/chile-siembra-y-cosecha/>
- Martínez, J. S. J., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & Cruz-Izquierdo, S. (2019). Características de fruto y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía. *Idesia (Arica)*. 37(2), 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200087>
- Moreno-Escamilla, J. O., de la Rosa, L. A., López-Díaz, J. A., Rodrigo-García, J., Núñez-Gastélum, J. A., & Alvarez-Parrilla, E. (2015). Effect of the smoking process and firewood type in the phytochemical content and antioxidant capacity of red Jalapeño pepper during its transformation to chipotle pepper.

Food Research International. 76, 654–660.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.031>

Ortega-Martínez, L. D., Martínez-Valenzuela, C., Waliszewski, S., Ocampo-Mendoza, J., Huichapan-Martínez, J., El Kassis, E., Soto-Ruiz, G., & Pérez Armendáriz, B. (2017). Nivel tecnológico de invernadero y riesgo para la salud de los jornaleros. *Nova Scientia*. 9(18), 21-42.
<https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.730>

Ramírez-Ibarra, J. A., Troyo-Dieguez, E., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Gallegos-Robles, M. Á., Vázquez-Vázquez, C., Ríos-Plaza, J. L. & García-Hernández, J. L., (2017). Diagnóstico de nutrimento compuesto e interacciones nutrimentales en chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en suelos semiáridos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 4(11), 233-242.
<https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1047>

SIAP. (13 de Septiembre de 2020). *Inforural*. inforural.com.mx/mexico-primer-lugar-mundial-en-produccion-de-chile-verde-y-sexto-en-la-de-chile-seco/

SIAP. (2013). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP.
<http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/002-e.html>

SADER. (2020, enero 7). Agricultura protegida, otra manera de cultivar. SADER
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agricultura-protegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es>

Sánchez-Olarte, J., Argumedo-Macías, A., Álvarez-Gaxiola, J. F., Méndez-Epinoza, J. A., & Ortiz-Espejel, B. (2015). Conocimiento tradicional en prácticas agrícolas en el sistema del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 12(2), 237-254.
<https://doi.org/10.22231/asyd.v12i2.151>

Soto-Bravo, F., Araya-Cubero, E. A., & Echandi-Gurdian, C. (2019). Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y

rendimiento de chile dulce 'Dulcítico', en hidroponía bajo invernadero. *Agronomía Costarricense*. 44(1), 43-64.
<https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40001>

Tort, V., & Botta, A. (2015). El chile jalapeño en el mundo. Trabajo final de la carrera técnico superior en gestión gastronómica, Instituto superior # 4044 "SOL".
<https://xdoc.mx/preview/el-chile-en-el-mundo-5c10199cb8b0b>

Tucuch-Hass, C. J., Alcantar-Gonzalez, G., Ordas-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J. A., & Larqué-Saavedra, A. (2011). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*. 30(1), 9-15.

V. CAPITULO 1. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA APLICADA EN FERTIRRIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)

Alejandro, **Palomar-de Santos**¹, Adrián, **Gómez-González**^{1*}, E. Javier, **García-Herrera**¹, Ismael, **Hernández-Ríos**¹, Francisco J., **Morales-Flores**¹, Catarino, **Perales-Segovia**²

¹Innovación en Manejo de Recursos Naturales-Campus San Luis Potosí-Colegio de Postgraduados. Calle Iturbide 73. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. CP. 78600. ²Tecnológico Nacional de México, Campus El Llano Aguascalientes. Carretera Aguascalientes-San Luis Potosí km 18, El Llano, Aguascalientes, México. CP. 20330.

*agomez@colpos.mx

5.1 RESUMEN

En México es importante aumentar la producción de chile (*Capsicum annuum* L.) ya que es un fruto que es consumido en grandes cantidades y de diferentes formas, y esto lo hace rentable. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar las diferencias en la producción de chile debidas al uso de diferentes concentraciones de fertilizantes de la solución nutritiva, densidades de población y el manejo de poda de plantas, a fin de buscar un incremento en la producción, utilizando fertirriego. El estudio se realizó en Salinas de Hidalgo, SLP, México, en el ciclo primavera-verano de 2021. El diseño de tratamientos fue un factorial 3x3x2, donde se probaron tres concentraciones de solución nutritiva (SB-baja, SM-media, SA-alta), tres densidades de plantación (D1, D2, D3) y el manejo de poda (PC-con poda; PS-sin poda). Hubo diferencias en la producción, debido a la concentración de la solución nutritiva. La mayor producción se registró con la SA de nutrientes. Respecto a la poda, no realizar poda fue el mejor tratamiento. Referente a las densidades no hubo diferencias, pero de acuerdo a la tendencia mostrada, con una densidad de población de tres plantas por metro lineal, se tiene una mayor producción de chile.

La concentración de nutrientes y la calidad del agua es importante para el manejo de las soluciones nutritivas para evitar una baja producción de chile en verde.

Palabras claves: Fertirriego, Concentración, Solución nutritiva, Producción.

5.2 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la agricultura ha mostrado mayor sensibilidad al cambio climático, favoreciendo procesos de erosión del suelo, retroceso de glaciares, pérdida de cobertura vegetal, incremento en la intensidad de lluvias y alteración en la dinámica de los cultivos de las regiones agrícolas que provocan efectos adversos en la producción de alimentos (Lozano-Povis *et al.*, 2021). Los impactos devastadores del cambio climático en la biodiversidad y la seguridad alimentaria, junto con la creciente población mundial significan que se deben tomar medidas para conservar el suelo, esto es una prioridad urgente (Vincent *et al.*, 2013).

Los cultivos protegidos emplean, entre otros medios, los invernaderos, en donde se utilizan técnicas que favorecen condiciones artificiales y micro-climáticas óptimas, con el fin de asegurar una producción intensiva y calidad deseable en las cosechas (Lara-Capistrán *et al.*, 2020). Ante la escasez de los recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, es necesario buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y al mismo tiempo, se obtengan altos rendimientos. En éste sentido, el fertirriego ha resultado una técnica prometedora en agro ecosistemas hortícolas intensivos para aprovechar adecuadamente agua y nutrimentos durante su ciclo de producción, mediante el empleo de sistemas de riego localizado (Duarte-Díaz *et al.*, 2010).

En México, la importancia de cultivar hortalizas es por sus períodos vegetativos cortos, sus altos rendimientos e ingresos por unidad cultivada, además de que demandan mucha mano de obra; por ejemplo, el chile requiere aproximadamente 150 jornales por hectárea con bajos rendimientos (10 t/ha) en promedio (SIAP, 2019). En algunos estados del país se destinan superficies al cultivo del chile para deshidratarlo, y en otros se destinan principalmente para producto fresco y encurtido (Inforural, 2012).

En el cultivo de chile, las temperaturas óptimas para crear un buen equilibrio entre el crecimiento vegetativo y la fructificación están entre 22-23 °C durante el día y 18-19 °C por la noche (Gómez-González *et al.*, 2019), sin cambios bruscos y con humedad ambiental superior al 60 %, además gran cantidad de luz durante el primer período de crecimiento después de la germinación. Bajo estos requerimientos se hace factible el cultivo de chile en invernaderos, donde el manejo de las condiciones ambientales es más controlable (Martínez, 2012).

El manejo de la fertirrigación incide en la sustentabilidad de los cultivos intensivos por la salinización del suelo y aguas, aumento en los costos de producción por ineficiencia en el uso de los fertilizantes y el envejecimiento prematuro de la planta que afecta su producción y calidad del fruto (Bravo *et al.*, 2016). En la actualidad, los productores de chile jalapeño obtienen bajos rendimientos en la producción al no asegurar el manejo de una nutrición adecuada independiente de las condiciones de producción (a cielo abierto o en invernadero). La mayoría de los productores realizan fertilización de fondo (una cantidad de abono depositada antes de trasplantar) pero durante el desarrollo del cultivo no fertilizan. En algunas ocasiones aplican fertilizantes foliares, sin considerar los requerimientos nutricionales adecuados del cultivo.

En forma puntual, al cultivo de chile bajo invernadero se le debe aplicar de forma correcta una solución nutritiva, seguido de un manejo apropiado, ya que de no ser así se tendrán resultados similares al cultivo a cielo abierto, caracterizado por riesgos ambientales y una nutrición deficiente. En la zona del altiplano potosino zacatecano, con condiciones de déficit de agua y humedad relativa escasa, es necesario el aprovechamiento de cada litro de agua en la producción de alimentos. Por ello, en el presente estudio se planteó como objetivo determinar la producción de chile obtenida bajo diferente concentración de fertilizantes en la solución nutritiva, densidades de población y manejo de poda en plantas de chile, usando fertirriego como una manera más eficiente en el aprovechamiento del agua y el suelo bajo una producción óptima.

5.3 MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1 Ubicación del experimento. - El estudio se realizó de mayo a agosto del 2021 en el municipio de Salinas, San Luis Potosí, en la Unidad de Investigación y Producción “La Huerta” del Colegio de Postgraduados que se encuentra en las coordenadas, 22° 37' 13" Latitud Norte, 101° 42' 54" Oeste, a 2022 msnm. El experimento se estableció en un invernadero bitúnel, con una superficie de 1000 m², con cubierta de polietileno de 8 mm de espesor, con ventilas de aire cenital y laterales, sin sistema de calefacción.

Se utilizó semilla de chile jalapeño híbrido (variedad PS 11435807 de Seminis®) de crecimiento determinado, debidamente tratadas. Esta variedad se caracteriza por producir chiles de gran tamaño (10.5 X 2.5 cm y 32 gr), de exterior liso y color verde oscuro. La siembra se realizó en semillero de unicel (254 cavidades) previamente desinfectado, con cloro comercial al 1 %, con una humedad equivalente a capacidad de campo. Se depositó la semilla en cada cavidad de la charola, sobre sustrato de “peat moss”, a una profundidad de 5 mm.

El trasplante de las charolas de germinación al suelo donde crecen las plantas, se realizó cuando las plantas tenían de seis a ocho hojas verdaderas. Las plantas alcanzaron una altura de 20 cm en promedio, después de 60 días de haber sido sembradas. En el trasplante se depositó la plántula en un orificio en el suelo a 2 cm.

El riego fue con cintilla calibre 6000 de 1 Lh⁻¹, con goteros a una distancia de 20 cm, conectada a una bomba de ¼ de hp por medio de manguera de 16 mm. Al inicio del trasplante, se realizó un riego pesado para evitar que la planta se estresara. También se instaló un programador de tiempo para los riegos y distribuirlos durante el día. El sistema se programó para dar 1 o 2 riegos por día según lo requirió el cultivo. El sistema de fertirriego estuvo abastecido de solución nutritiva por un tanque de 450 L.

Para la nutrición del cultivo se utilizó la solución nutritiva recomendada por Hewit y Smith, modificada por Gómez-González *et al.* (2019), la cual se administró en dos concentraciones de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, en cuanto a

fertilizantes se utilizaron: KNO_3 , Urea, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, y para suministrar los micronutrientes “Cl, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Bo” además de Na, se utilizó kelatex. Las soluciones nutritivas usadas se muestran en los Cuadros 1 y 2, en fertirriego se utilizó la solución nutritiva al 70 %.

Cuadro 1. Solución nutritiva inicial.

	Concentración (ppm)		
	Baja	Media	Alta
N	180	300	387
P	66	90	113
K	200	320	375
Micronutrientes	10	15	20
pH y CE utilizados			
pH	6.7	7.05	6.8
CE	2.8	3.05	3.5

Cuadro 2. Solución nutritiva final.

	Concentración (ppm)		
	Baja	Media	Alta
N	160	280	367
P	66	90	113
K	235	355	410
Micronutrientes	10	15	20
pH y CE utilizados			
pH	6.35	6.35	6.33
CE	2.8	3.05	3.5

Se realizaron prácticas preventivas de combate de plagas y enfermedades. Se utilizaron insecticidas y fungicidas comerciales (Monitor y Ridomil, respectivamente). También se usaron extractos vegetales a base de alcohol, plantas aromáticas y chile de árbol para el control de plagas (Perales et al., 2020). Cuando se detectó la presencia de enfermedades, se utilizó un extracto a base de semillas de cítricos y alcohol (Perales-Aguilar *et al.*, 2020). Las plagas y enfermedades que se presentaron fueron: pulgones, araña roja, damping-off y cenicilla. A los 120 días después del trasplante se dio por terminado el ciclo de reproducción de chile.

5.3.2 Densidades de plantación. - Un productor a cielo abierto establece en promedio 25,000 plantas por hectárea, 2 plantas por metro lineal con una separación de 80 cm por surco. En este estudio se probaron densidades de plantación más altas; 2 plantas (D1), 3 plantas (D2) y 4 plantas (D3) por metro, estas densidades van de 25,000 a 50,000 plantas por hectárea. Este espacio de explotación de densidades de población permite analizar la eficiencia en el uso del espacio, el agua y los nutrientes.

5.3.3 Poda. - Al cultivo de chile se le realizó una poda de formación (PC) para contar con una mayor aireación y una menor competencia por luz, así como una mayor prevención de plagas y enfermedades. La primera poda fue a los 30 días después del trasplante, se quitaron las primeras ramificaciones de la parte inferior del tallo consideradas como chupones o yemas axilares, y después cada 10 días se cortaron las hojas viejas con poda de la parte inferior. En el tratamiento complementario no se realizó poda a las plantas de chile (PS).

5.3.4 Tratamientos aplicados. - La combinación de tres concentraciones de fertilizante en la solución nutritiva, tres densidades de población y dos niveles de poda fueron aplicados a plantas de chile, dio lugar a los tratamientos que se distribuyeron de manera aleatoria en el invernadero bitúnel.

El diseño experimental de plantas de chile fue distribuido en bloques completos al azar con 18 tratamientos y tres repeticiones, generando 54 unidades

experimentales resultantes del arreglo factorial. Los factores ensayados fueron: (A) tres soluciones nutritivas (SB, SM, SA), (B) tres densidades de plantas por metro lineal, 2 plantas por metro lineal, 3 plantas por metro lineal y 4 plantas por metro lineal y (C) dos manejos de poda, tratamiento con poda y otro sin poda. El total de unidades experimentales fue de 54 plantas.

5.3.4 Variables evaluadas. – Para las características de crecimiento vegetativo las variables evaluadas fueron **altura de la planta (m)** para lo cual se utilizó un flexómetro, se midió desde el inicio del tallo (al ras del suelo) hasta el meristemo apical más alto. Se reportó la altura alcanzada por las plantas de chile al final del ciclo de reproducción. La variable **peso fresco (g)** de la planta se obtuvo al final del ciclo del cultivo retirando todos los chiles que tenía la planta. La variable **peso seco (g)** de la planta, se obtuvo después de 60 días de estabilización del peso por secado al sol. La variable **diámetro de tallo (mm)** de la planta se midió con un vernier analógico se realizó al ras del suelo donde inicia el tallo.

Para las características del crecimiento reproductivo las variables evaluadas fueron: **número de flores** en la planta de chile que estaban abiertas, no en botón. Para la variable **número de frutos** por planta de chile solo fueron considerados los que estaban bien formados y sin flor. Para la variable **rendimiento total (g)** de chile se pesaron todos los chiles cortados por planta. Al final se sumaron los 9 cortes realizados a lo largo del ciclo de cultivo.

5.3.5 Análisis estadístico

Para obtener diferencias en las variables medidas en la producción de chile, los datos obtenidos del diseño experimental con arreglo factorial, con tres repeticiones de cada tratamiento, se hizo un Análisis de Varianza (ANOVA) y de correlación lineal. Para tal procedimiento se usó un programa estadístico en lenguaje SAS versión 3.8 edición Enterprise, disponible en <https://welcome.oda.sas.com/login>. Se analizaron los efectos e interacciones de los factores de concentración de la solución en fertirriego, la densidad de población en el suelo y la presencia de poda, en características de la planta de chile como la altura, el peso fresco, peso seco y

diámetro de tallo además del número de flores, frutos y peso de los chiles obtenidos. El criterio de análisis fue buscar la presencia de un efecto significativo, así como las diferencias en medias utilizando un criterio diferenciador de prueba de medias de las características evaluadas con una prueba Tukey al 95 % de confianza o con un margen máximo de 5 % de error.

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se muestran de acuerdo al crecimiento y desarrollo fenológico que tuvo la planta. El Cuadro 3, muestra las variables de desarrollo vegetativo como son: Altura de la planta, número de flores, frutos por planta, diámetro del tallo, peso fresco, peso seco y rendimiento total.

Cuadro 3. Desarrollo vegetativo y reproductivo de plantas de chile jalapeño.

Tratamiento	AP (m)	NF (#)	FP (#)	DT (mm)	PFP (g)	PSP (g)	RT (g)
Solución baja, 2 plantas con poda	0.90 a	60 ab	141 bc	18.7 ab	533 b	151 bc	1921 bc
Solución baja, 2 plantas sin poda	0.90 a	59 ab	148 b	19.3 ab	545 bc	150 bc	2137 bc
Solución baja, 3 plantas con poda	0.85 a	36 bc	87 c	16.7 ab	326 bc	99 bc	1932 bc
Solución baja, 3 plantas sin poda	0.86 a	45 b	104 b	16.3 ab	411 bc	115 bc	2121 bc
Solución baja, 4 plantas con poda	0.89 a	47 bc	95 bc	18.0 ab	433 bc	124 bc	2632 bc
Solución baja, 4 plantas sin poda	0.49 b	50 c	52 cd	10.3 bc	349 bc	102 bc	1188 c
Solución media, 2 plantas con poda	1.00 a	65 ab	129 b	20.7 ab	652 ab	176 ab	2532 bc
Solución media, 2 plantas sin poda	0.96 a	90 a	171 ab	22.7 a	757 ab	198 ab	3225 ab
Solución media, 3 plantas con poda	0.95 a	50 b	109 bc	20.3 ab	331 bc	94 bc	3237 ab
Solución media, 3 plantas sin poda	0.92 a	85 a	152 b	20.7 ab	559 b	151 b	3222 ab
Solución media, 4 plantas con poda	0.87 a	41 bc	91 c	17.7 ab	394 bc	115 bc	3289 ab
Solución media, 4 plantas sin poda	0.90 a	66 a	121 bc	16.7 ab	431 bc	123 bc	3221 ab
Solución alta, 2 plantas con poda	0.87 a	77 a	180 ab	21.7 ab	682 ab	183 ab	3082 b
Solución alta, 2 plantas sin poda	0.96 a	85 a	209 a	25.0 a	989 a	253 a	4943 ab
Solución alta, 3 plantas con poda	0.78 a	36 bc	103 bc	18.0 ab	333 bc	103 bc	2505 bc
Solución alta, 3 plantas sin poda	0.93 a	65 a	173 ab	23.0 a	786 ab	206 ab	5441 a
Solución alta, 4 plantas con poda	0.84 a	31 bc	70 c	12.3 b	265 bc	84 bc	1758 bc
Solución alta, 4 plantas sin poda	0.80 a	44 ab	135 bc	19.3 ab	488 bc	135 bc	5529 a

Medias con la misma letra no representan diferencia estadística ($p \geq 0.05$). Altura de la planta (**AP**), Número de flores (**NF**), Frutos por planta (**FP**), Diámetro de tallo (**DT**), Peso fresco de la planta (**PFP**), Peso seco de la planta (**PSP**), Rendimiento total (**RT**).

El tratamiento que tuvo plantas con mayor diámetro de tallo (25 mm) fue en la solución con alta concentración (CA), 2 plantas (D1), y sin poda (PS), seguido del tratamiento CA, D3, sin poda PS, con 23 mm de diámetro (Cuadro 3); sin embargo,

la diferencia entre estos dos tratamientos no fue significativa. En la variable diámetro del tallo de plantas de chile, donde hubo 2 plantas (D1), se tuvo el tallo con mayor diámetro 21.33 mm (Figura 1), aunque la concentración de la solución nutritiva y la práctica de podar no tuvo efecto. El diámetro del tallo probablemente les permitió a las plantas tener un mejor soporte de ramas y frutos, como lo sugieren Moreno-Pérez *et al.* (2011). Por su parte Ramírez-Luna *et al.* (2005), mencionan que las plantas de chile cultivadas en invernadero desarrollan una mayor altura y diámetro de tallo más delgado en comparación con plantas a cielo abierto; esto puede ser a causa de que en el invernadero son diferentes las condiciones climáticas y a que las prácticas de manejo también difieren. Por otra parte, también puede deberse a la disponibilidad de nutrimentos y el diferencial en el gasto de energía que las plantas realizan para obtenerlos. El diámetro de tallo puede ser mayor cuando la planta no compite por luz, espacio y nutrientes, en el suelo y así posiblemente las que tengan un mayor diámetro de tallo tuvieron un mejor desarrollo de la raíz.

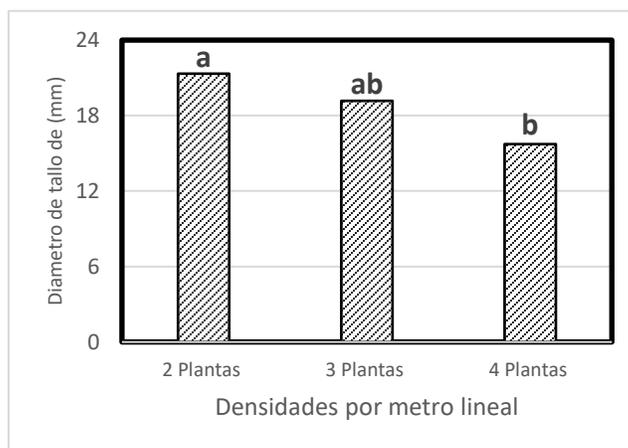


Figura 1. Diámetro de tallo de plantas de chile bajo diferentes densidades.

En la **variable peso seco** de plantas, el tratamiento con mayor peso seco (160 g) fue el de la solución nutritiva alta (Figura 2). Esto se debe posiblemente a que la concentración de la solución nutritiva fue la adecuada para que la planta desarrollara mucho follaje y no hubo necesidad de podar. Jaimez *et al.* (2010) reportan que las plantas que se trataron con diferentes soluciones nutritivas dependiendo de la etapa fenológica del cultivo, y que no se podaron, obtuvieron los valores más altos en cuanto al volumen de raíz y peso de materia seca.

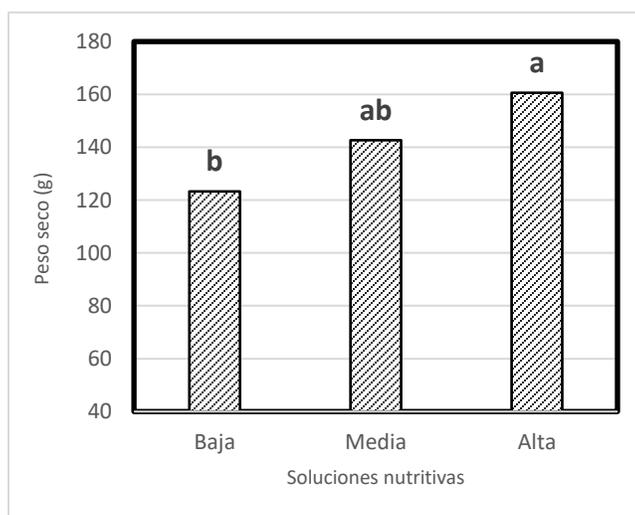


Figura 2. Peso seco de plantas de chile bajo diferentes concentraciones de fertilizantes en las soluciones nutritivas.

Peña & Zenner (2015) afirman que los altos porcentajes de materia seca de la parte aérea de las plantas de (*Capsicum annuum L.*) indican mayor número de hojas, fuente y producción de foto asimilados para el llenado de los órganos exigentes. La solución nutritiva alta por su concentración de nitrógeno y potasio favoreció, para obtener un mayor peso seco en las plantas. En la Figura 3 se aprecia que con la densidad 2 plantas (D1), se obtuvo un mayor peso seco (185 g). Asimismo, en la Figura 4 se observa que también hubo un efecto significativo entre podar y no podar, obteniendo un mayor peso seco (159 g) cuando no se realizó la poda.

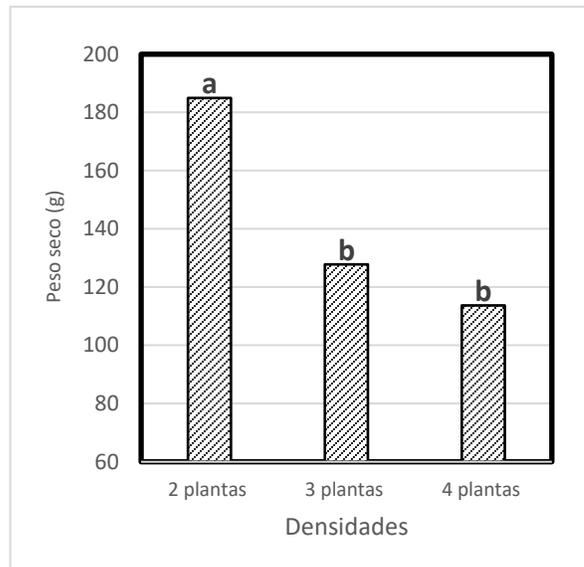


Figura 3. Peso seco de plantas de chile bajo diferentes densidades.

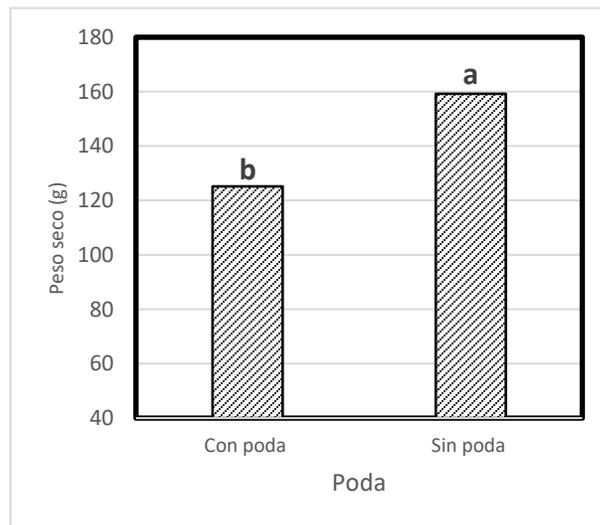


Figura 4. Peso seco de plantas de chile con poda y sin poda.

Las plantas que tuvieron mayor peso seco fueron las evaluadas a una menor densidad, con densidades altas las plantas compiten por la luz y esto impide su desarrollo vegetativo. El podar la planta afecta en el contenido de materia seca. En

la variable **rendimiento total**, los tratamientos con los mejores promedios fueron el de la solución alta, con 3 plantas y sin poda, y el de la solución alta, con 4 plantas y sin poda, con 5,441 g y 5,529 g respectivamente. Se tuvo una mayor producción con la concentración alta, la práctica de podar afectó negativamente la producción, de manera que se obtuvieron mayores rendimientos de chile cuando no se realizó ninguna poda, en tanto que la densidad de plantación no produjo un efecto en la producción de chile. Se observa una tendencia que con la densidad de plantación de 3 plantas y con una alta concentración se tiene una mayor producción (Figura 5). López-Gómez *et al.* (2020) reportan que el rendimiento de chile habanero, fue mayor cuando se aplicó la solución nutritiva de acuerdo a su etapa fenológica y sin podar la planta. Para una mayor producción es mejor utilizar 3 plantas por metro lineal para disminuir la incidencia de plagas. Los tratamientos con una concentración nutritiva alta presentaron los mayores rendimientos, y en la Figura 6 se observa que entre esos tratamientos a los que se les realizó la poda el rendimiento fue menor. También hay una tendencia que con densidades de plantación menores a 4 plantas (D3), hace un efecto positivo en la producción (Figura 6).

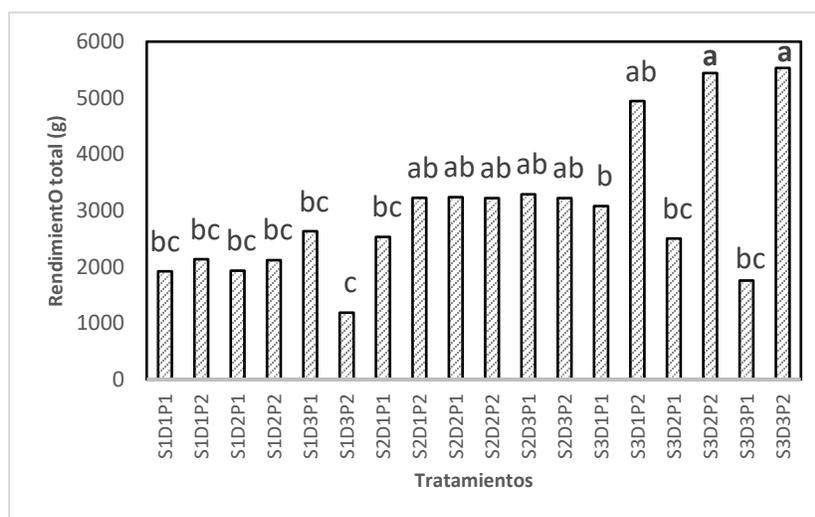


Figura 5. Rendimiento total de chile por tratamiento.

Medias con la misma letra no presentan diferencia ($P > 0.05$).

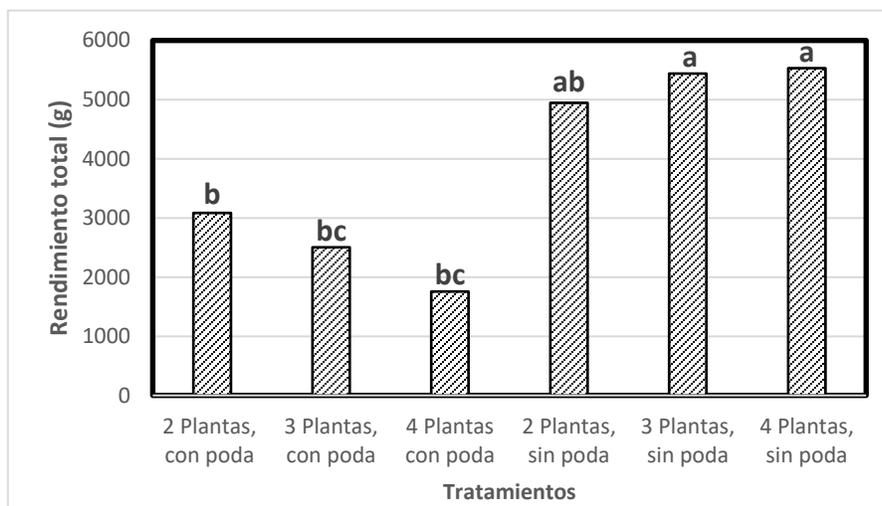


Figura 6. Producción de chile con la concentración alta de solución nutritiva.

Medias con la misma letra no representan diferencia ($P>0.05$).

En cuanto al rendimiento total expresado en $t\ ha^{-1}$, donde las densidades de planta corresponden a 25,000, 37,500 y 50,000 plantas por ha para 2, 3 y 4 plantas por m lineal, respectivamente, se observa en el Cuadro 4 que la producción en los tratamientos de fertilización baja, con 50,000 plantas por ha y sin podar fue el más bajo con $11.88\ t\ ha^{-1}$. En tanto que, con solución media, 50,000 plantas por ha y sin podar el rendimiento fue de $32.21\ t\ ha^{-1}$. Pero fue notorio que los tratamientos con solución alta, fueron claramente los que mayores rendimientos totales arrojaron. Así, por ejemplo, con solución alta, 37,500 plantas por ha y sin podar, el rendimiento fue de $54.41\ t\ ha^{-1}$, en tanto que el mayor rendimiento se obtuvo con solución alta, 50,000 plantas por ha y sin podar, con un valor de $55.29\ t\ ha^{-1}$.

Cuadro 4. Rendimiento total de chile jalapeño por hectárea.

Tratamiento	$t\ ha^{-1}$
Solución baja, 25,000 plantas por hectárea, con poda	19.21bc
Solución baja, 50,000 plantas por hectárea, sin poda	11.88 c
Solución media, 25,000 plantas por hectárea, con poda	25.32 bc
Solución alta, 25,000 plantas por hectárea, con poda	30.82 b
Solución alta, 25,000 plantas por hectárea, sin poda	49.43 ab

Tratamiento	t ha ⁻¹
Solución alta, 37,500 plantas por hectárea, con poda	25.05 bc
Solución alta, 37,500 plantas por hectárea, sin poda	54.41 a
Solución alta, 50,000 plantas por hectárea, con poda	17.58 bc
Solución alta, 50,000 plantas por hectárea, sin poda	55.29 a

Las variables de diámetro de tallo y rendimiento de plantas de chile jalapeño mostraron una correlación (99 %; Cuadro 5). La menor correlación se encontró entre peso seco de la planta y número de flores (14 %). El alto grado de asociación entre el rendimiento y el diámetro del tallo, se debe posiblemente a que en fertirriego la planta desarrolla su diámetro de tallo, por la eficiencia de la concentración de nutrientes durante la irrigación.

Cuadro 5. Correlaciones de las variables del desarrollo vegetativo y reproductivo.

Características	Rendimiento	Altura de planta	Número de Flores	Número de Frutos	Diámetro del tallo	Peso fresco de plantas	Peso seco de plantas
Rendimiento	-	0.33	-0.50	0.33	0.99	0.70	0.78
Altura de planta	0.33	-	0.65	1.00	0.19	0.91	0.85
Número de Flores	-0.50	0.65	-	0.65	-0.62	0.27	0.14
Número de Frutos	0.33	1.00	0.65	-	0.19	0.91	0.85
Diámetro del Tallo	0.99	0.19	-0.62	0.19	-	0.58	0.68
Peso fresco de plantas	0.70	0.91	0.27	0.91	0.58	-	0.99
Peso seco de plantas	0.78	0.85	0.14	0.85	0.68	0.99	-

5.5 CONCLUSIONES

La concentración de la solución nutritiva alta, con elevados contenidos de nitrógeno y potasio, tiene un efecto positivo al dar lugar a un mayor rendimiento de chile jalapeño. En el sistema de fertirriego, con solución alta, 3 plantas por metro lineal

(equivalente a 37,500 plantas por hectárea) y sin poda, se obtuvo un rendimiento de 54.41 t ha⁻¹. El mayor rendimiento de chile jalapeño se obtuvo con una solución alta, 4 plantas por metro lineal (o 50,000 plantas por hectárea) y sin poda, con un valor de 55.29 t ha⁻¹. En un sistema de fertirriego bajo invernadero se recomienda utilizar soluciones con alta concentración de nutrientes, densidades de 3 plantas por metro lineal y sin poda.

5.6 AGRADECIMIENTOS

Al concejo nacional de ciencia y tecnología (**CONACYT**), por su apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

Se agradece al programa de maestría en ciencias en innovación en manejo de recursos naturales (**IMRN**), del colegio de postgraduados campus SLP.

5.7 LITERATURA CITADA

Bravo, I., Yucra, R., & Mazuela, Pilar. (2016). Efecto de la fertirrigación en un cultivo de tomate sobre la sostenibilidad agrícola de un valle costero del desierto de Atacama, Chile. *IDESIA*. 34(6), 75-78.

Duarte-Díaz, C., Ajete-Gil, M., González-Robaina, F., & Bonete-Pérez, C. (2010). Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila. *Revista ciencias técnico agropecuarias*. 19(3), 12-16.

Gómez-González, A., Reyes-Contreras, J. G., García-Herrera, E. J., Pimentel-López, J., & Silos-Espino, H. (2019). Efecto de la orientación y forma de contenedor sobre el crecimiento y desarrollo de chile ancho cultivado en invernadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*.1(22), 43-51. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1857>.

Inforural. (4 de Julio de 2012). Chile, producción nacional. <https://www.inforural.com.mx/chile-produccion-nacional/>

Jaimez, R., Añez, B., Espinoza, W. (2010). Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum*

annuum L.). Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 27(1), 418-432.

Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 38(3), 693-704. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>

López-Gómez, J. D., Sotelo-Nava, H., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez M., & Cardoso-Taketa, A. T., (2020). Rendimiento y calidad del chile habanero en respuesta a la poda de conducción y régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(2), 315-325. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1777>.

Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: A systematic review. *Scientia Agropecuaria*. 12(1), 101-108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>

Martínez, J. (10 de Julio de 2012). Chile, siembra y cosecha. <https://www.inforural.com.mx/chile-siembra-y-cosecha/>

Moreno-Pérez., E., Mora-Aguilar., R., Sánchez-del Castillo., F., & García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 17(2), 5-18.

Peña, B. F. & Zenner, de P. I. (2015). Growth of three-color hybrids of sweet paprika under greenhouse conditions. *Agronomía Colombiana*. 33(2),139-146.

Perales-Aguilar, L., Chávez-Servia, J. L., Perales-Aguilar, L., Tafoya, F., & Perales-Segovia, C. (2020). Manejo del gorgojo de frijol almacenado, con extractos de plantas asociadas al cultivo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*.

7(2), 76 – 84. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/3-RMAE_2020-12-Gorgojo-To-edit.pdf

Ramírez-Luna, E.; Castillo-Aguilar, C. de la C.; Aceves-Navarro, E. y Carrillo-Ávila, E. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile ‘Habenero’. México. *Revista Chapingo Serie. Horticultura*. 11(1), 93-98.

SIAP. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Chile. Cierre de la producción agrícola, 2019. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Vincent, H., Wiersema, J., Kell, S., Fielder, H., Dobbie, S., Castañeda-Álvarez, N. P., Guarino, L., Eastwood, R., León, B., & Maxted, N. (2013). A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biological Conservation*. 167, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.011>

VI. CAPITULO 2. EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L) CON HIDROPONIA EN INVERNADERO

Alejandro, **Palomar-de Santos**¹, Adrián, **Gómez-González**¹, E. Javier, **García-Herrera**¹, Ismael, **Hernández-Ríos**¹, Francisco J., **Morales-Flores**¹, Catarino, **Perales-Segovia**²

¹Innovación en Manejo de Recursos Naturales-Campus San Luis Potosí-Colegio de Postgraduados. Calle Iturbide 73. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. CP. 78600. ²Tecnológico Nacional de México, Campus El Llano Aguascalientes. Carretera Aguascalientes-San Luis Potosí km 18, El Llano, Aguascalientes, México. CP. 20330.

*garciae@colpos.mx

6.1 RESUMEN

La producción de chile (*Capsicum annuum*) en México genera importantes ingresos económicos. El manejo del cultivo de chile bajo invernadero utilizando hidroponia es importante para aumentar la producción, así como, una manera más eficiente en el aprovechamiento del agua. El objetivo de la presente investigación fue determinar las diferencias en la producción de chile jalapeño debidas a diferentes niveles de concentración de nutrimentos en la solución nutritiva, diferentes densidades de población y la poda en plantas de chile con hidroponia. El estudio se realizó en Salinas de Hidalgo, SLP, México, en el ciclo primavera-verano de 2021. El diseño de tratamientos fue un factorial con el que, se probaron tres soluciones nutritivas (SB, SM, SA), tres densidades de plantación (D1, D2, D3) y el manejo de poda (PC con poda y PS sin poda). No hubo diferencias estadísticas en la producción debido a la concentración de la solución nutritiva. Aunque, con la (SA) se muestran mayores rendimientos. Referente a las densidades se encontraron diferencias significativas en la producción. La D3 se tuvo mayor producción. En poda no se tuvieron diferencias estadísticas. Con PS se encontró mayor producción. Una concentración alta de nutrimentos, altas densidades y no podar, es el manejo

adecuado para obtener buenos rendimientos con este tipo de tecnología. La agricultura protegida con la técnica de hidroponía para la producción de chile es una tecnología innovadora, que permite aumentar los rendimientos y por ende los ingresos de los productores.

Palabras clave: Hortalizas, Agricultura protegida, Innovación tecnológica, Hidroponía, Manejo agronómico.

6.2 INTRODUCCIÓN

La hidroponía es un sistema eficiente para producir, en espacios reducidos, de manera intensiva, verduras, frutas, flores, hierbas aromáticas y ornamentales de excelente calidad, sin alterar, ni agredir el medio ambiente. Se trata del cultivo de plantas en un sustrato inerte o un medio acuoso, recibiendo los nutrientes minerales que necesitan para crecer disueltos en el agua de riego (García-Delgado, 2007).

En ese sentido, la hidroponía como tecnología integrada a los invernaderos, contribuye con la eficiencia de uso de agua, de los fertilizantes y del espacio, reduce enfermedades de suelo, los efectos de climas extremos, permite producir hortalizas durante todo el año, aumenta la calidad de los productos y los rendimientos. Además, disminuye la incidencia de plagas y enfermedades, lo cual evita el uso de pesticidas, lo que genera productos más sanos para la persona consumidora y menor contaminación ambiental Soto *et al.*, 2019.

Una parte importante de los sistemas hidropónicos es la solución nutritiva, la cual proporciona a la planta los elementos esenciales (Lara-Herrera, 1999). Muchos sistemas hidropónicos utilizan el método propuesto por Steiner (1961), que se basa en una relación mutua entre aniones y cationes. En el manejo de cultivos, con este tipo de sistemas, se busca el aumento de densidades de población ya que es una práctica que, aunque causa disminución en el rendimiento por planta, incrementa el rendimiento por unidad de superficie, por otro lado, se tiene la práctica de poda sobre todo en variedades de ciclo indeterminado (Cruz *et al.*, 2009).

En este sentido, hoy en día, el incremento en la demanda de alimentos ha obligado al sector agrícola, a crear nuevas tecnologías que permitan aumentar el rendimiento por superficie cultivada. El chile es una de las hortalizas que aumentó su demanda en los últimos años (Beltrán-Morales *et al.*, 2016). En México se cultiva una gran variedad de tipos de chiles; entre ellos, el chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es uno de los de mayor importancia económica (Morón y Alayón, 2014).

La agricultura protegida utiliza la hidroponía para la producción de hortalizas, y esta es una técnica muy eficiente, pero para ello se deben tomar en cuenta varios factores importantes como, por ejemplo, la cantidad de nutrimentos que tiene la solución nutritiva expresada en CE, el manejo de densidades de población, seguido de la conveniencia o no de podar, todo esto para aumentar el rendimiento.

En la presente investigación se buscó determinar las diferencias en la producción de chile jalapeño debidas al uso de la concentración de soluciones nutritivas, densidades de población y manejo de poda, en un sistema hidropónico. Bajo la hipótesis de que con una concentración de nutrimentos alta y densidades de población de cuatro plantas y sin podar la planta se incrementa el rendimiento.

6.3 MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1 Ubicación del experimento. - El estudio se realizó de mayo a agosto del 2021 en el municipio de Salinas, San Luis Potosí, en la Unidad de Investigación y Producción “La Huerta” del Colegio de Postgraduados, que se encuentra en las coordenadas 22° 37' 13" Latitud Norte, y 101° 42' 54" Longitud Oeste, a 2022 msnm. El experimento se estableció en un invernadero bitúnel, con una superficie de 1000 m², con cubierta de polietileno de 8 mm de espesor, con ventilas de aire cenital y laterales, sin sistema de calefacción.

Se utilizó semilla de chile jalapeño híbrido (variedad PS 11435807 de Seminis®) de crecimiento determinado, debidamente tratadas, La variedad se caracteriza por producir chiles de gran tamaño (10.5 x 2.5 cm y peso promedio de 32 g), de exterior liso y color verde oscuro.

La siembra se realizó en semillero de unicel (254 cavidades), previamente desinfectado con cloro comercial al 1%, con una humedad equivalente a capacidad de campo. Se depositó la semilla en cada cavidad de la charola sobre sustrato de "peat moss", a una profundidad de 5 mm, con un riego final para iniciar el proceso de germinación.

El trasplante de las charolas de germinación al boli con sustrato de fibra de coco donde se desarrollan las plantas, se realizó cuando las plantas tenían de seis a ocho hojas verdaderas. Las plantas alcanzaron, para su evaluación, una altura de 20 cm en promedio después de 60 días de haber sido sembradas.

El sistema de hidroponia estuvo abastecido de solución nutritiva por un tanque de 450 L. Se distribuía con una bomba de $\frac{1}{4}$ hp por medio de manguera de 16 mm, El riego se hizo con goteros de 4 L h^{-1} , con cuatro o tres salidas, dependiendo el tratamiento, con una bayoneta a un costado de la planta. Se instaló un programador de tiempo (timer) para los riegos. El sistema se programó para dar 5 o 7 riegos por día según lo requirió el cultivo.

Para la nutrición del cultivo se utilizó la solución nutritiva recomendada por Hewit y Smith, modificada por Gómez-González (2019), la cual se administró en dos concentraciones de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, en cuanto a fertilizantes se utilizaron: KNO_3 , Urea, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, y para suministrar los micronutrientes Cl, S, Fe, Mn, Cu, Zn y Bo, además de Na, se utilizó kelatex. Las soluciones nutritivas usadas se muestran en los Cuadros 6 y 7, en hidroponia se utilizó la solución nutritiva al 100 %.

Cuadro 6. Solución nutritiva inicial (ppm).

	Baja	Media	Alta
N	180	300	387
P	66	90	113
K	200	320	375
Micronutrientes	10	15	20
pH y CE utilizados			
pH	6.7	7.05	6.8
CE	2.8	3.05	3.5

Cuadro 7. Solución nutritiva final (ppm).

	Baja	Media	Alta
N	160	280	367
P	66	90	113
K	235	355	410
Micronutrientes	10	15	20
pH y CE utilizados			
pH	6.35	6.35	6.33
CE	3.5	> 4	> 4

Se realizaron prácticas preventivas de **combate de plagas y enfermedades**. Se utilizaron insecticidas y fungicidas comerciales (Monitor y Ridomil, respectivamente). También se usaron extractos vegetales a base de alcohol, plantas aromáticas y chile de árbol para el control de plagas, de acuerdo con Perales-Aguilar *et al.* (2020). Cuando se detectó la presencia de enfermedades, se utilizó un extracto a base de semillas de cítricos y alcohol, de acuerdo con Perales-Aguilar *et al.* (2020). Las plagas y enfermedades que se presentaron fueron:

pulgones, araña roja, damping-off y cenicilla. A los 120 días después del trasplante se dio por terminado el ciclo de reproducción de chile.

6.3.2 Densidades de plantación. - Un productor a cielo abierto establece en promedio 25,000 plantas por hectárea. En este estudio se probaron densidades de plantación más altas; 2 plantas (D1), 3 plantas (D2) y 4 plantas (D3) por metro lineal, que equivalen a 25,000, 37,500 y 50,000 plantas por hectárea, respectivamente. Estas densidades de población permiten analizar la eficiencia en el uso del espacio, el agua y los nutrientes.

6.3.3 Poda. - Al cultivo de chile se le realizó una poda de formación (PC) para contar con una mayor aireación y una menor competencia por luz, así como una mayor prevención de plagas y enfermedades. La primera poda fue a los 30 días después del trasplante, para lo cual se quitaron las primeras ramificaciones de la parte inferior del tallo, consideradas como chupones o yemas axilares, y después cada 10 días se cortaron las hojas viejas con poda de la parte inferior. En el tratamiento complementario no se realizó poda a las plantas de chile (PS).

6.3.4 Tratamientos aplicados. - La combinación de tres soluciones nutritivas, tres densidades de población y dos niveles de poda, fueron aplicados a plantas de chile generando 18 tratamientos con tres repeticiones por tratamiento. Con ello, se generaron 54 unidades experimentales que se distribuyeron de manera aleatoria en el invernadero bitúnel.

El diseño experimental de plantas de chile fue distribuido en bloques completos al azar con 18 tratamientos y tres repeticiones con arreglo factorial. Los factores ensayados fueron: (A) Tres soluciones nutritivas: baja (SB), media (SM) y alta (SA), (B) tres densidades de plantas por metro lineal: 2 (D1), 3 (D2) y 4 (D3) plantas por metro lineal, y (C) dos manejos de poda: tratamiento con poda (PC) y otro sin poda (PS). El total de unidades experimentales fue de 54 plantas.

6.3.5 Variables evaluadas. - Para caracterizar el crecimiento vegetativo las variables evaluadas fueron **altura de la planta (m)**, para lo cual se utilizó un flexómetro, se midió desde el inicio del tallo (al ras del suelo) hasta el meristemo

apical más alto. Se reportó la altura alcanzada por las plantas de chile al final del ciclo de reproducción. La variable **peso fresco (g)** de la planta se obtuvo al final del ciclo del cultivo retirando todos los chiles que tenía la planta. La variable **peso seco (g)** de la planta se obtuvo después de 60 días de estabilización del peso por secado al sol. La variable **diámetro de tallo (mm)** de la planta se midió con un vernier analógico se realizó al ras del suelo donde inicia el tallo.

Para las características del crecimiento reproductivo las variables evaluadas fueron: **Número de flores** en la planta de chile que estaban abiertas, no en botón. Para la variable **número de frutos** por planta de chile solo se consideraron los que estaban bien formados y sin flor. Para la variable **rendimiento total (g)** de chile se pesaron todos los chiles cortados por planta. Al final se sumaron los 9 cortes realizados a lo largo del ciclo de cultivo.

6.3.6 Análisis estadístico

Para observar el comportamiento en las variables consideradas en esta investigación. Los datos obtenidos del diseño experimental con arreglo factorial, con tres repeticiones de cada unidad experimental, se sometieron a un análisis de varianza. Para tal procedimiento se usó un programa estadístico en lenguaje SAS versión 3.8 edición Enterprise, disponible en <https://welcome.oda.sas.com/login>. Se analizaron los efectos e interacciones de los factores de concentración de la solución en hidroponía, la densidad de población en el sustrato y la presencia de poda en características de la planta de chile como la altura, el peso fresco, peso seco y diámetro de tallo además del número de flores y frutos y peso de los frutos de chile obtenidos. El criterio de análisis fue buscar la presencia de un efecto significativo, así como las diferencias en medias utilizando un criterio diferenciador de prueba de medias de las características evaluadas con una prueba Tukey al 95% de confianza o con un margen máximo de 5% de error.

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se muestran de acuerdo al crecimiento y desarrollo fenológico que tuvo la planta. El Cuadro 8 muestra las variables de desarrollo vegetativo y de

crecimiento reproductivo como son: altura, número de flores, número de frutos, diámetro del tallo, peso fresco, peso seco y rendimiento.

Cuadro 8. Desarrollo vegetativo y reproductivo de plantas de chile en hidroponia.

Tratamiento	AP (m)	NF (#)	FP (#)	DT (mm)	PFP (g)	PSP (g)	RT (g)
SBD1CP	0.64 ab	32 ab	108 ab	19.0 ab	368 ab	88 ab	2306 b
SBD1SP	0.69 ab	48 ab	120 ab	21.7 a	293 ab	75 ab	2293 bc
SBD2CP	0.71 ab	43 ab	124 ab	19.3 ab	403 ab	80 ab	4317 ab
SBD2SP	0.69 ab	40 ab	98 ab	20.3 ab	447 ab	112 ab	2909 ab
SBD3CP	0.65 ab	29 ab	102 ab	20.3 ab	416 ab	111 ab	3975 ab
SBD3SP	0.73 a	47 ab	112 ab	18.3 ab	401 ab	74 ab	3607 ab
SMD1CP	0.63 ab	29 ab	93 ab	17.0 ab	396 ab	102 ab	1519 bc
SMD1SP	0.68 ab	48 ab	126 ab	21.3 ab	264 ab	55 ab	2003 bc
SMD2CP	0.46 ab	45 ab	107 ab	10.7 b	236 ab	66 ab	2458 ab
SMD2SP	0.67 ab	53 ab	131 ab	19.3 ab	617 ab	141 ab	3161 ab
SMD3CP	0.63 ab	43 ab	112 ab	18.0 ab	484 ab	126 ab	4039 ab
SMD3SP	0.68 ab	50 ab	121 ab	18.0 ab	475 ab	119 ab	4215 ab
SAD1CP	0.72 ab	55 ab	153 a	16.3 ab	535 ab	131 ab	2616 ab
SAD1SP	0.70 ab	59 a	152 ab	20.7 ab	713 a	159 a	2429 ab
SAD2CP	0.69 ab	45 ab	115 ab	14.3 ab	504 ab	121 ab	3053 ab
SAD2SP	0.62 ab	42 ab	108 ab	15.3 ab	454 ab	118 ab	2664 ab
SAD3CP	0.69 ab	41 ab	111 ab	15.3 ab	388 ab	101 ab	3470 ab
SAD3SP	0.70 ab	56 ab	137 ab	15.7 ab	562 ab	125 ab	4615 a

Medias con la misma letra no representan diferencia estadística ($p \geq 0.05$). Altura de la planta (**AP**), Número de flores (**NF**), frutos por planta (**FP**), Diámetro de tallo (**DT**), Peso fresco de la planta (**PFP**), Peso seco de la planta (**PSP**), Rendimiento total (**RT**), Solución baja (**SB**), Solución media (**SM**), Solución alta (**SA**), Dos plantas (**D1**), Tres plantas (**D2**), Cuatro plantas (**D3**), Con poda (**CP**), Sin poda (**SP**).

En la variable **altura de la planta** no hubo significancia estadística ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 8). Aunque se muestra el tratamiento (SBD3SP) con mayor altura de 0.73 m y el tratamiento (SMD2CP) con 0.46 m. Se tiene que el promedio de tratamientos es de 0.66 m. Tampoco se tuvo un efecto entre las variables independientes solución nutritiva densidad y poda. En general, se muestra una tendencia homogénea en cuanto al crecimiento de la planta con relación a los diferentes tratamientos. La ausencia de diferencias significativas en la altura de planta, se debe posiblemente a que la solución nutritiva utilizada está muy completa, en base a los requerimientos de nitrógeno para el cultivo, y por lo tanto, hay efecto de la densidad de plantas y de la poda sobre el crecimiento de la planta. Al respecto, Beltrán-Morales *et al.* (2016) reportan alturas de plantas de chile jalapeño menores utilizando la solución nutritiva de Steiner (1984). También Bautista-Hernández (2017) obtuvo alturas de 47 cm menores en una variedad de chile. Debido que a

todos los tratamientos se les aplicó solución nutritiva y a la variedad que se cultivó, no se encontró variación en las alturas.

En la variable **número de flores** no hubo diferencia estadística ($p>0.05$) (Cuadro 8). Solo se muestra el tratamiento (SAD1SP) con mayor número de flores (59). En promedio los tratamientos de la (SA) fueron los que tuvieron mayor número de flores. Tampoco se tuvo un efecto entre las variables de solución y densidad, solo cuando no se podó la planta tuvo un mayor número de flores (Cuadro 9).

Cuadro 9. Número de flores acumuladas de plantas de chile jalapeño por efecto de poda, bajo hidroponia.

Factor	Número de Flores	Prueba de medias
Poda		
Con Poda	40.3	b
Sin Poda	49.3	a

Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $p>0.05$).

En la variable **número de frutos** no hubo diferencia estadística ($p>0.05$) (Cuadro 8). Solo se muestra el tratamiento (SAD1CP) con mayor número de frutos acumulados (153 frutos). Tampoco se tuvo un efecto en solución densidad y poda. Se observó que el desarrollo reproductivo fue similar en todos los tratamientos por tal motivo no se discute esta variable.

En la variable **diámetro de tallo** el tratamiento SBD1SP tuvo el mayor diámetro de tallo (21.7 mm) y el tratamiento SMD2CP fue el de menor diámetro de tallo (10.7 mm) (Cuadro 8). La razón del mayor diámetro de tallo con el tratamiento SBD1SP, se puede deber a que en el caso de la concentración baja la CE es la ideal para el cultivo, en cuanto a las densidades las plantas no compiten por espacio, y con la poda la planta se está limitando en su desarrollo. Lara-Herrera (1999) menciona que la CE influye en la nutrición de las plantas, a CE mayores que 6 dS m^{-1} se induce diferente absorción entre los nutrimentos y, por lo tanto, desbalance entre éstos.

Esto coincide referente a las densidades ya que se observó que con dos plantas (D1) el diámetro de estas fue mayor (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la solución nutritiva, densidad y poda, en el diámetro de tallo de plantas de chile jalapeño, bajo hidroponia.

Factor	Diámetro de Tallo (mm)	Prueba de medias
Solución		
Solución baja	19.83	a
Solución media	17.39	ab
Solución alta	16.28	a
Densidades		
2 Plantas	19.33	a
3 Plantas	16.56	b
4 Plantas	17.61	ab
Poda		
Con Poda	16.70	b
Sin Poda	18.96	a

Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $p>0.05$).

En la variable **Peso fresco de la planta** no hubo diferencia estadística ($p>0.05$) (Cuadro 8). Se encontró que el tratamiento SAD1SP tuvo un mayor peso fresco (713 g). No se tuvo un efecto en las variables de solución y densidad, solo con el tratamiento (SP) las plantas tuvieron en promedio un mayor peso en gramos (Cuadro 11). Al respecto, Cruz *et al.* (2009) mencionan que el incremento de la densidad de población ocasiona una disminución en tamaño, vigor y peso de la planta, es decir, de biomasa. Por otro lado, esto coincide con (Azofeifa, 2005) quienes mencionan que la planta a mayor absorción de nutrimentos, mayor acúmulo de materia seca. En el cultivo se observó que en donde había menos plantas estas se veían más grandes y vigoras respecto al follaje que presentaban.

Cuadro 11. Peso fresco de plantas de chile jalapeño por efecto del manejo de poda, bajo hidroponia.

Factor	PFP (g)	Prueba de medias
Poda		
Con Poda	414.47	b
Sin Poda	469.41	a

Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $p > 0.05$).

En la variable **Peso seco de la planta** no hubo diferencia estadística con ($p > 0.05$) (Cuadro 8). Solo el tratamiento SAD1SP tuvo un mayor peso seco (159 g). En las variables independientes no hubo diferencias estadísticas. Por tal motivo no se hace discusión de esta variable.

En **la variable rendimiento total**, el tratamiento con los mejores promedios fue SAD3SP con 4,615 g. Se tuvo una mayor producción con la concentración alta, no hubo diferencias estadísticas con la poda, y la densidad afectó en la producción de chile. Se encontró que con la densidad de plantación D3 de cuatro plantas y con una alta concentración, se tiene una mayor producción (Cuadro 12). El que no hubo diferencias estadísticas en la producción debidas a la solución nutritiva, posiblemente se debe a que la concentración de nutrimentos (CE) estuvieron muy parejas, y en densidades de población tuvo un mayor rendimiento la densidad más alta, y para el manejo de poda fue mejor no podar, porque en esta variedad por su desarrollo fenológico no es recomendable. Al respecto, Cruz *et al.* (2009) indicaron que el incremento de la densidad de población ocasiona un incremento por unidad de superficie y en las plantas con despunte temprano de yemas disminuye el rendimiento, esto en pimiento. También un inapropiado manejo de la solución nutritiva en cualquiera de estos factores, o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Lara-

Herrera, 1999). Se tuvo un buen rendimiento con la solución nutritiva alta ya que ésta contaba con los elementos esenciales para su reproducción. Densidades con cuatro plantas por metro lineal son aceptables para un mayor rendimiento, esto debido al porte de la planta. En cuanto a la poda, ya que es una planta de crecimiento determinado y no es necesario de dirigirla a más tallos, resultó mejor no podar.

Cuadro 12. Efecto de la solución nutritiva, densidad y poda en el rendimiento acumulado de chile, bajo hidroponia.

Factor	Rendimiento de chile (g)	
Soluciones		
Solución baja	3234.2	a
Solución media	2899.14	a
Solución alta	3140.91	a
Densidades		
2 Plantas	2194.29	c
3 Plantas	3093.32	b
4 Plantas	3986.64	a
Poda		
Con Poda	3083.46	a
Sin Poda	3099.37	a

Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $p>0.05$).

6.5 CONCLUSIONES

Se determinó que la concentración de la solución nutritiva (baja, media y alta) en el sistema hidropónico, no influye en el rendimiento ya que no tuvo diferencias estadísticas, aunque, con la concentración alta de nutrientes se tiene una tendencia a tener un mayor rendimiento.

Se observó que con una alta densidad (cuatro plantas) hay un mayor rendimiento. Con hidroponia se eleva la productividad debido a que se pueden utilizar más plantas por unidad de superficie.

Referente a la poda, en hidroponia no hubo diferencias estadísticas, no influye en el incremento o disminución del rendimiento.

6.6 AGRADECIMIENTOS

Al concejo nacional de ciencia y tecnología (**CONACYT**), por su apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

Se agradece al programa de maestría en ciencias en innovación en manejo de recursos naturales (**IMRN**), del Colegio de Postgraduados, Campus SLP.

6.7 LITERATURA CITADA

Azofeifa, Á., & Moreira, M. A. (2005). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* cv. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1), 77-84. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43629.108>

Bautista-Hernández, C. F. (2017). Efecto de diferentes fuentes de nutrición en el potencial productivo de dos variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 19(1),17-21. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/oai>

Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis Variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 3(7), 143-149.

Cruz-Huerta, N., Sánchez -del Castillo, F., Ortiz-Cereceres, J., & Mendoza–Castillo, M., C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México*. 35(1), 73-80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60835107>

- García-Delgado, M. (2007). Investigadores de la UAM del Mante impulsan la hidroponía para la producción en los huertos familiares. *Ciencia UAT*. 1(3), 45-47.
<http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/480>
- Gómez-González, A., Reyes-Contreras, J. G., García-Herrera, E. J., Pimentel-López, J., & Silos-Espino, H. (2019). Efecto de la orientación y forma de contenedor sobre el crecimiento y desarrollo de chile ancho cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(22), 43–51.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1857>
- Lara-Herrera, A. (1999). Manejo de la solución nutritiva en el cultivo de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 17(3), 221-229.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317306>
- Morón, R.A., y Alayón, G.J.A. (2014). Productividad de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Revista Avances de Investigación Agropecuaria*. 18(3), 35-40.
- Perales-Aguilar, L., Chávez-Servia, J. L., Perales-Aguilar, L., Tafoya, F., & Perales-Segovia, C. (2020). Manejo del gorgojo de frijol almacenado, con extractos de plantas asociadas al cultivo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 7(2), 76-84. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/3-RMAE_2020-12-Gorgojo-To-edit.pdf
- Soto Bravo, F., Araya Cubero, E. A., & Echandi Gurdian, C. (2019). Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y rendimiento de chile dulce 'Dulcítico', en hidroponía bajo invernadero. *Agronomía Costarricense*. 44(1), 43-64.
<https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40001>
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.

Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soils Culture. Wageningen, The Netherlands. pp. 633-650.

Vence, L. B., Valenzuela, O. R., Svartz, H. A., & Conti, M. E. (2013). Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención de agua. *Ciencia suelo*. 31(2), 153-164.

VII. COMPARACIÓN DE LOS DOS SISTEMAS ESTUDIADOS

La nutrición es el aspecto más importante que se debe manejar para tener una mayor producción, en esta investigación se encontró que con altas concentraciones de nitrógeno y potasio se tuvo una mayor producción. Es importante resaltar que en el sistema de hidroponia se debe tener cuidado con el manejo de la CE para tener un mayor rendimiento.

Las densidades de plantación son diferentes para cada sistema de producción, para fertirriego no se recomienda utilizar densidades mayores a 3 plantas por metro lineal, porque el aspecto de la planta es muy grande y con altas densidades las plantas compiten por la luz. En cambio, en hidroponia se pueden utilizar densidades de hasta 4 plantas por metro lineal porque las plantas muestran un desarrollo más arbustivo y no crecen tanto, todo esto para tener un mayor rendimiento.

El manejo de poda de formación que se le dio al cultivo para el sistema de fertirriego, afectó en el rendimiento, esto quiere decir que en esta variedad no se recomienda podar la planta porque esto afecta en la producción.

Referente a los sistemas de producción, ambos sistemas mostraron que son buenos en cuestiones de producción y algunos tratamientos tienen un mayor rendimiento, pero en cuestiones de calidad, con hidroponia se obtiene mejor fruto en tamaño.

VIII. CONCLUSIÓN GENERAL

1. La concentración de potasio en la solución nutritiva influye mucho para tener una mayor producción.
2. El manejo que se le debe de dar a cada cultivo referente a las densidades y poda, es un factor muy importante para tener una mayor producción, el cual puede variar en cada sistema.
3. Para siguientes investigaciones sobre el manejo de soluciones nutritivas, sería importante explorar el comportamiento a un mayor rango de diferentes conductividades eléctricas en la última etapa fenológica, y de esa manera, determinar su efecto en la producción.
4. Evaluar el efecto del amonio en todas las etapas fenológicas del cultivo, para definir con precisión en qué etapa es conveniente retirarlo en la solución final.
5. Determinar el manejo óptimo del riego para el sistema de hidroponia en este cultivo, a fin de que la planta tenga un mejor aprovechamiento de los nutrientes.

IX. BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Aguirre-Hernández, E. & Muñoz-Ocotero, V. (2015). El chile como alimento. *Revista ciencia*. 16-23.
- Álamo, A. (2017). Jalapeño, todo el sabor de México. <https://www.bonviveur.es/gastroteca/jalapeno-todo-el-sabor-de-mexico>
- Alonso-Báez, M., Tijerina-Chávez, L., Sánchez-García, P., Aceves-Navarro, L. A., Escalante-Estrada, A. J., & Martínez-Garza, A., (2002). Producción de chile jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. *Terra Latinoamericana*. 20(2), 209-215.
- Azofeifa, Á., & Moreira, M. A. (2005). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* cv. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1), 77-84. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43629.108>
- Bautista-Hernández, C. F. (2017). Efecto de diferentes fuentes de nutrición en el potencial productivo de dos variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 19(1),17-21. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/oai>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annuum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*. 274, 872-885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Báez-Iracheta, F. & Orozco-Hernández, G. (2015). Paquete Tecnológico para Chile jalapeño. <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0003Chile1.pdf>.
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis

- variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 3(7), 143-149.
- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. *Editorial EDULP*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benavides, M. (2019, mayo 24). Conoce los tipos de sustratos para tu cultivo hidropónico. *Ecosiglos*. <https://ecosiglos.com/conoce-los-tipos-de-sustratos-para-tu-cultivo-hidroponico/>.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*. 8(10), 2-12.
- Castellón-Martínez, É., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vera-Guzman, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(SPE5), 27-35.
- Chen, J. L. (2020). Fibra de coco: un componente de los medios de cultivo. *Horticulture*. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/fibra-de-coco-un-componente-de-los-medios-de-cultivo/>.
- Cruz-Huerta, N., Sánchez -del Castillo, F., Ortiz-Cereceres, J., & Mendoza–Castillo, M., C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimienta. *Agricultura Técnica en México*. 35(1), 73-80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60835107>
- Díaz, L. P. (2019). Diversidad genética, estructura poblacional y relaciones en una colección de razas terrestres de pimienta (*Capsicum spp.*) del centro español de diversidad reveladas por genotipado por secuenciación (GBS). *Horticulture research*. 4(8), 23-29.

- Duarte-Díaz, C., Ajete-Gil, M., González-Robaina, F., & Bonete-Pérez, C. (2010). Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila. *Revista ciencias técnico agropecuarias*. 19(3), 12-16.
- García-Delgado, M. (2007). Investigadores de la UAM del Mante impulsan la hidroponía para la producción en los huertos familiares. *Ciencia UAT*. 1 (3), 45-47.
<http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/480>
- Gómez-González, A., Reyes-Contreras, J. G., García-Herrera, E. J., Pimentel-López, J., & Silos-Espino, H. (2019). Efecto de la orientación y forma de contenedor sobre el crecimiento y desarrollo de chile ancho cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(22), 43–51.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1857>
- Inforural. (2012). Chile, producción nacional. *Inforural*.
<https://www.inforural.com.mx/chile-produccion-nacional/>
- Jaimez, R., Añez, B., Espinoza, W. (2010). Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annum* L.). Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 27(1), 418-432.
- Lara-Herrera, A. (1999). Manejo de la solución nutritiva en el cultivo de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 17(3), 221-229.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317306>
- Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Revista Terra Latinoamericana*. 38(3), 693-704. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>

- López-Gómez, J. D., Sotelo-Nava, H., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez M., & Cardoso-Taketa, A. T., (2020). Rendimiento y calidad del chile habanero en respuesta a la poda de conducción y régimen nutrimental. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*. 11(2), 315-25. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1777>.
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: A systematic review. *Scientia Agropecuaria*. 12(1), 101-108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., & Robles-Contreras, F. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia*. 14(3), 32-38. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.127>
- Maraña-Santacruz, J. Á., Castellanos-Pérez, E., Vázquez-Vázquez, C., Martínez-Ríos, J. J., Trejo-Escareño, H. I., & Gallegos-Robles, M. Á. (2018). Estiércol solarizado y dos métodos de riego en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 50(2), 105-117.
- Martínez, J. (2012, Julio 10). Chile, siembra y cosecha. *Inforural*. <https://www.inforural.com.mx/chile-siembra-y-cosecha/>
- Martínez, J. S. J., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & Cruz-Izquierdo, S. (2019). Características de fruto y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía. *Idesia (Arica)*. 37(2), 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200087>
- Moreno-Escamilla, J. O., de la Rosa, L. A., López-Díaz, J. A., Rodrigo-García, J., Núñez-Gastélum, J. A., & Alvarez-Parrilla, E. (2015). Effect of the smoking process and firewood type in the phytochemical content and antioxidant capacity of red Jalapeño pepper during its transformation to chipotle pepper.

Food Research International. 76, 654–660.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.031>

Morón, R.A., y Alayón, G.J.A. (2014). Productividad de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Revista Avances de Investigación Agropecuaria*. 18(3), 35-40.

Peña, B. F. & Zenner, de P. I. (2015). Growth of three-color hybrids of sweet paprika under greenhouse conditions. *Agronomía Colombiana*. 33(2),139-146.

Perales-Aguilar, L., Chávez-Servia, J. L., Perales-Aguilar, L., Tafoya, F., & Perales-Segovia, C. (2020). Manejo del gorgojo de frijol almacenado, con extractos de plantas asociadas al cultivo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 7(2), 76-84. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/3-RMAE_2020-12-Gorgojo-To-edit.pdf

Ortega-Martínez, L. D., Martínez-Valenzuela, C., Waliszewski, S., Ocampo-Mendoza, J., Huichapan-Martínez, J., El Kassis, E., Soto-Ruiz, G., & Pérez Armendáriz, B. (2017). Nivel tecnológico de invernadero y riesgo para la salud de los jornaleros. *Nova Scientia*. 9(18), 21-42. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.730>

Ramírez-Ibarra, J. A., Troyo-Dieguez, E., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Gallegos-Robles, M. Á., Vázquez-Vázquez, C., Ríos-Plaza, J. L. & García-Hernández, J. L., (2017). Diagnóstico de nutrimento compuesto e interacciones nutrimentales en chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en suelos semiáridos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 4(11), 233-242. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1047>

SIAP. (13 de Septiembre de 2020). Inforural. inforural.com.mx/mexico-primer-lugar-mundial-en-produccion-de-chile-verde-y-sexto-en-la-de-chile-seco/

SIAP. (2013). Obtenido de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/002-e.html>.

- SADER. (2020), Agricultura protegida, otra manera de cultivar. *SADER*.
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agricultura-protegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es>
- Sánchez-Olarte, J., Argumedo-Macías, A., Álvarez-Gaxiola, J. F., Méndez-Epinoza, J. A., & Ortiz-Espejel, B. (2015). Conocimiento tradicional en prácticas agrícolas en el sistema del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 12(2), 237-254.
<https://doi.org/10.22231/asyd.v12i2.151>
- Soto-Bravo, F., Araya-Cubero, E. A., & Echandi-Gurdian, C. (2019). Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y rendimiento de chile dulce 'Dulcítico', en hidroponía bajo invernadero. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 43-64.
<https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40001>
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. *Plant Soil*. 633-650.
- Tort, V., & Botta, A. (2015). El chile jalapeño en el mundo. Trabajo final de la carrera técnico superior en gestión gastronómica, Instituto superior # 4044 "SOL".
<https://xdoc.mx/preview/el-chile-en-el-mundo-5c10199cb8b0b>
- Tucuch-Hass, C. J., Alcantar-Gonzalez, G., Ordas-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J. A., & Larqué-Saavedra, A. (2011). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*. 30(1), 9-15.
- Vence, L. B., Valenzuela, O. R., Svartz, H. A., & Conti, M. E. (2013). Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención de agua. *Ciencia Suelo*. 31(2), 153-164.

Vincent, H., Wiersema, J., Kell, S., Fielder, H., Dobbie, S., Castañeda-Álvarez, N. P., Guarino, L., Eastwood, R., León, B., & Maxted, N. (2013). A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biological Conservation*. 167, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.011>

X. ANEXOS

SOLUCIÓN NUTRITIVA INICIAL

Solución nutritiva inicial	g 2500 L ⁻¹
Nitrato de potasio	2,125
Nitrato de calcio	2,100
Nitrato de magnesio	375
Fosfato mono amónico	1,000
Sulfato de magnesio	860
Micronutrientes	40

SOLUCIÓN NUTRITIVA FINAL

Solución nutritiva final	g 2500 L ⁻¹
Nitrato de potasio	1,750
Nitrato de calcio	2,100
Nitrato de magnesio	375
Fosfato monopotásico	1,300
Sulfato de magnesio	860
Micronutrientes	60