



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSGRADO EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES

**PRODUCCIÓN, DESARROLLO VEGETATIVO  
Y SECADO DE CUATRO GENOTIPOS DE  
CHILE GUAJILLO (*Capsicum annuum* L.)  
CULTIVADOS EN HIDROPONIA, BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO**

JUAN DIEGO DELGADO HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

SALINAS DE HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

2023

La presente tesis titulada: **Producción, desarrollo vegetativo y secado de cuatro genotipos de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponia, bajo condiciones de invernadero**, realizada por el alumno: **Juan Diego Delgado Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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

**CONSEJO PARTICULAR**

**PROFESOR CONSEJERO:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ADRIÁN GÓMEZ GONZÁLEZ**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. E. JAVIER GARCÍA HERRERA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ISMAEL HERNÁNDEZ RÍOS**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. JOSÉ MANUEL MARTÍNEZ MIRELES**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México

Diciembre 2022

# **PRODUCCIÓN, DESARROLLO VEGETATIVO Y SECADO DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE GUAJILLO (*Capsicum annuum* L.) CULTIVADOS EN HIDROPONIA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

Juan Diego Delgado Hernández, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2023

En México existe gran variabilidad en la producción de hortalizas, entre las que se encuentra el chile guajillo. En este tipo de chile el rendimiento en peso fresco es en promedio de 16.7 t ha<sup>-1</sup>, mientras que el rendimiento promedio en peso seco es solamente 2.8 t ha<sup>-1</sup>. El cambio climático y el aumento poblacional son problemas que afectan drásticamente la agricultura tradicional, por lo que la agricultura protegida es una opción viable para aumentar rendimientos y hacer uso racional de los recursos naturales. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo vegetativo, cuantificar el rendimiento del fruto y analizar el secado de cuatro genotipos de chile guajillo, no caracterizados, recolectados en diferentes comunidades de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, y que fueron cultivados en diferentes sustratos y densidades de plantación, en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero. La distribución de los tratamientos fue mediante un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo general lineal con análisis de varianza y pruebas de medias con el método de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). El genotipo con un mayor rendimiento en verde y en seco fue el recolectado en Las Colonias, cultivado en fibra de coco (S1) a una densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2). La densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2) fue la que registró un mayor rendimiento promedio en fresco y seco; así mismo, el sustrato de fibra de coco (S1) promovió un diámetro de tallo más grueso, mayor número de flores y frutos, así como un mayor rendimiento. En el secado, el genotipo de Pánfilo Natera (G2) tardó más tiempo en llegar a su peso constante, registrando el mayor peso promedio de los genotipos evaluados. Las técnicas de secado solar (T1) y en túnel (T3) fueron las que tardaron el menor tiempo en secar el fruto; sin embargo, el secado a la sombra (T2) fue la técnica que obtuvo los frutos con mayor peso final.

Palabras clave: agricultura protegida, hidroponia, sustratos, agricultura tradicional.

# **PRODUCTION, VEGETATIVE DEVELOPMENT AND DRYING OF FOUR GENOTYPES OF GUAJILLO PEPPERS (*Capsicum annuum* L.) CULTIVATED IN HYDROPONICS, UNDER GREENHOUSE CONDITIONS**

Juan Diego Delgado Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2023

In Mexico there is great variability in the production of vegetables, among which is the guajillo chile. In this type of chili, the average yield in fresh weight is 16.7 t ha<sup>-1</sup>, while the average dry weight yield is only 2.8 t ha<sup>-1</sup>. Climate change and population growth are problems that drastically affect traditional agriculture, so protected agriculture is a viable option to increase yields and a make rational use of natural resources. Therefore, the objective of this research was to evaluate the vegetative development, to quantify the fruit average and analyze the drying process of four uncharacterized guajillo chile genotypes, collected in different communities in the states of San Luis Potosí and Zacatecas, and which were grown in different substrates and planting densities, in a hydroponic system under greenhouse conditions. The distribution of the treatments was by means of a randomized block design with factorial arrangement and three repetitions. For the statistical analysis, a general linear model was used with analysis of variance and means tests with the Tukey method ( $p \geq 0.05$ ). The genotype with the highest green and dry yield was the one collected in Las Colonias, grown in coconut fiber (S1) at a density of 3 plants m<sup>-2</sup> (D2). The density of 3 plants m<sup>-2</sup> (D2) was the one that registered the highest average fresh and dry yield; Likewise, the coconut fiber substrate (S1) promoted a thicker stem diameter, a greater number of flowers and fruit, as well as a higher yield. In drying, the Pánfilo Natera genotype (G2) took longer to reach its constant weight, registering the highest average weight of the evaluated genotypes. The solar (T1) and tunnel (T3) drying techniques were the ones that took the shortest time to dry the fruit; however, drying in the shade (T2) was the technique that obtained the fruit with the highest final weight.

Keywords: protected agriculture, hydroponics, substrates, traditional agriculture.

## DEDICATORIA

*Mi tesis se la dedico con todo mi amor y cariño:*

*A Dios, por darme la vida y permitirme vivir esta hermosa etapa de mi vida y, así mismo, terminarla de la mejor manera. Por ser Él quien me dio la sabiduría, el valor, la fuerza, el carácter y la motivación para terminar mi trabajo de investigación. (Josué 1: 8-9).*

*A mis padres: Clara Hernández Romo y José de Jesús Delgado González por su amor, confianza y por siempre apoyarme en cada una de mis decisiones.*

*A mis hermanos: Mireya y Javier, por su infinito apoyo, demostraciones de amor y por sus buenos deseos los amo.*

*A mis abuelos maternos: María de la Luz Romo Rentería y Gustavo Hernández Alba† por su infinito amor y lecciones de vida.*

*A mis abuelos paternos: Rosa Gonzáles Ávalos† y José Delgado González† por su amor y valiosos consejos que me inculcaron el amor por el campo y la agricultura.*

## AGRADECIMIENTOS

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

Al **Colegio de Postgraduados campus San Luis Potosí** por aprobar mi ingreso al programa de posgrado, por permitirme formar parte de esta gran familia y por toda la ayuda brindada en cada etapa de la investigación.

Al **Tecnológico Nacional de México campus el Llano Aguascalientes** por su disposición y ayuda en la investigación.

Al consejo particular: Al **Dr. Adrián Gómez González** por su confianza, disponibilidad, consejos y motivación que me hizo lograr mis objetivos profesionales, al **Dr. Eduviges Javier García Herrera** por su tranquilidad y paciencia, al **Dr. Ismael Hernández Ríos** por el apoyo y disponibilidad para ayudar en todo momento, al **M.C José Manuel Martínez Mireles** por la ayuda brindada y por su disposición para apoyar en la investigación.

A la **Dra. Brenda I. Trejo Téllez** por su amistad, apoyo desinteresado y los consejos que fueron de gran utilidad para la realización de mi trabajo.

Al Dr. **Francisco J. Morales Flores** por dedicar su tiempo extra clase a mi trabajo, por sus consejos y enseñanzas.

A los profesores, quienes compartieron sus conocimientos en las aulas, dedicaron su tiempo en mi formación académica y que de manera desinteresada me ayudaron a resolver las dudas que surgieron en el proceso.

A los productores, quienes amablemente me abrieron las puertas de su casa para compartir información sobre sus actividades como productores y me ayudaron con mi colecta de material vegetal de chile guajillo.

Al personal de apoyo del *Campus* San Luis Potosí, especialmente a los que laboran en la unidad experimental “La Huerta” por sus consejos en cuestiones técnicas y por facilitar material y herramientas.

Al personal administrativo del *Campus* San Luis Potosí, quienes de una manera atenta y amable resolvieron mis dudas y me ayudaron a cumplir con los trámites en tiempo y forma.

A mis amigos, que fueron parte fundamental en mi motivación para ingresar al posgrado y, así mismo, concluirlo.

Por último, a todas aquellas personas quienes directa e indirectamente participaron y ayudaron para llevar a cabo la investigación.

*Gracias*



## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>6</b>
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos .....	6
<b>2.3 Hipótesis .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Literatura citada .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1. PRODUCCIÓN Y DESARROLLO VEGETATIVO DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE GUAJILLO EN HIDROPONIA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN UN AMBIENTE SEMIÁRIDO.....</b>	<b>10</b>
1.1 Introducción.....	12
1.2 Materiales y métodos .....	13
1.3 Resultados y discusión .....	17
1.4 Conclusiones.....	26
1.5 Literatura citada .....	27
<b>CÁPITULO 2. EVALUACIÓN DEL SECADO DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE GUAJILLO (<i>Capsicum annuum</i> L.) UTILIZANDO TÉCNICAS ECOLÓGICAS.....</b>	<b>31</b>
2.1 Introducción.....	33
2.2 Materiales y métodos .....	35
2.3 Resultados y discusión .....	38
2.4 Conclusiones.....	49
2.5 Literatura Citada.....	51
<b>RELACIÓN ENTRE CAPÍTULO 1 (PRODUCCIÓN) Y CAPÍTULO 2 (SECADO). .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>59</b>
Literatura.....	61

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Solución nutritiva (SN) utilizada en la fase inicial y final en el cultivo de chile guajillo (g L-1). .....	<b>15</b>
<b>Cuadro 2.</b> Prueba de medias de las variables vegetativas y reproductivas del cultivo de cuatro genotipos de chile, a dos densidades de plantación y usando dos sustratos a los 145 días después del trasplante. ....	<b>17</b>
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de los genotipos en la altura de las plantas de chile (DDT).....	<b>18</b>
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de los sustratos en la altura de las plantas de chile en las primeras fechas de muestreo.....	<b>19</b>
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de los sustratos en el diámetro de tallo a los 145 DDT.....	<b>19</b>
<b>Cuadro 6.</b> Efecto de los sustratos en el porcentaje de humedad extraída de los frutos de chile guajillo.....	<b>39</b>
<b>Cuadro 7.</b> Temperaturas promedio por técnica de secado.....	<b>39</b>
<b>Cuadro 8.</b> Interacción de los factores probados en relación con el tiempo en alcanzar el peso constante (días).....	<b>44</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Floración acumulada de las plantas de chile cultivadas en los diferentes sustratos.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b> Frutos acumulados de las plantas de chile cultivadas en los diferentes sustratos.....	<b>22</b>
<b>Figura 3.</b> Efecto de la densidad de plantación en el rendimiento total de plantas de chile (t ha <sup>-1</sup> ).....	<b>23</b>
<b>Figura 4.</b> Efecto de los sustratos en el rendimiento total (t ha <sup>-1</sup> ). ....	<b>24</b>
<b>Figura 5.</b> Rendimiento total de plantas de chile (t ha <sup>-1</sup> ). ....	<b>25</b>
<b>Figura 6.</b> Efecto de los genotipos de chile guajillo en el secado en función de los días. ....	<b>41</b>
<b>Figura 7.</b> Efecto de las técnicas de secado en la deshidratación del chile guajillo en función de los días. ....	<b>42</b>
<b>Figura 8.</b> Efecto de las técnicas de secado en el porcentaje de humedad extraída.....	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b> Efecto de las técnicas de secado en la pérdida de peso del chile guajillo. ...	<b>47</b>
<b>Figura 10.</b> Efecto de los genotipos en el peso final luego del secado. ....	<b>48</b>
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de materia seca de los genotipos de chile guajillo. ....	<b>55</b>
<b>Figura 12.</b> Efecto de los sustratos en el rendimiento total de chile seco (t ha <sup>-1</sup> ).....	<b>56</b>
<b>Figura 13.</b> Efecto de las densidades de plantación en el rendimiento total de chile seco (t ha <sup>-1</sup> ).....	<b>57</b>
<b>Figura 14.</b> Rendimiento total de chile seco (t ha <sup>-1</sup> ). ....	<b>58</b>

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad, el cambio climático es un problema mundial que afecta directamente la agricultura, donde las altas temperaturas provocan desórdenes fisiológicos (senescencia y lento desarrollo del fruto, pudriciones, marchitamiento de la planta etc.) lo que genera un menor rendimiento en los cultivos y una menor calidad en la producción (López-Marín *et al.*, 2016). Sin embargo, los daños provocados por el cambio climático a la agricultura se reparten de forma desigual entre los productores, siendo aquellos con menor producción y que dependen más estrechamente del temporal los más afectados y, en particular, los establecidos en zonas áridas y semiáridas (Altieri & Nicholls, 2008).

Por otro lado, el crecimiento demográfico es otra problemática a la que se enfrenta la agricultura, por lo que son necesarias otras alternativas de producción para abastecer de alimentos de calidad a la población. El incremento poblacional requiere que la producción de alimentos sea cada vez mayor y no atender esta problemática podría provocar una crisis alimentaria (Moral & Omar, 2013). Es por ello que la producción de alimentos y materias primas debe ser cada vez mayor para hacer frente a este aumento poblacional de forma sostenible (Zamudio-Sánchez *et al.*, 2008).

En México, existe una gran variabilidad en la producción de hortalizas. Sin embargo, el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los más valorados dentro y fuera del país; esto debido al consumo y aceptación que tiene al formar parte fundamental de la dieta junto con otros cultivos como el maíz y el frijol (Castellón-Martínez *et al.*, 2012). El género *Capsicum* incluye una gran variabilidad de chiles que pueden reconocerse por su tamaño, morfología y pungencia. Debido a esta última característica, pueden ser clasificados generalmente en picantes los de menor tamaño y en dulces los más grandes (Mayek-Pérez *et al.*, 2015).

Específicamente el chile guajillo, también conocido con el nombre de mirasol cuando éste se encuentra en fresco, es uno de los de mayor importancia en el país. Éste,

se cosecha comúnmente cuando el fruto llega a un estado fisiológico al que se le conoce como “empodre”, que es cuando cambia del color verde a un rojo intenso.

El sistema tradicional, por otro lado, ha limitado la producción de esta hortaliza en diversas regiones debido a la forma y tipo de tecnología utilizada en su producción. La agricultura tradicional está estrechamente ligada a la cultura campesina e indígena que cada ciclo cultiva la tierra utilizando los conocimientos empíricos basados en experiencias propias y las de sus ancestros. Esta forma de producción agrícola se caracteriza, entre otras cosas, por hacer un bajo uso de tecnología; sin embargo, promueven la diversidad biológica al utilizar en baja medida agroquímicos, o en algunos casos prefieren hacer uso de labores culturales para el control de plagas y malezas (Lúa *et al.*, 2015).

La innovación en los procesos productivos agrícolas es un desafío que debemos afrontar para lograr un aumento productivo, competitivo y económico (Canales *et al.*, 2015). Desde hace algunos años se han utilizado estructuras con cubiertas de policarbonato o plásticas para la producción agrícola, a lo que se le conoce como agricultura protegida. Esta forma de producción es una opción para evitar que el medio ambiente tenga interacción directa con las plantas e intervenga en su desarrollo. En los últimos años, se han desarrollado estructuras que generan alternativas diferentes y que proveen el ambiente óptimo para el desarrollo de los cultivos de acuerdo a sus necesidades climatológicas y ambientales (Juarez Lopez *et al.*, 2011).

La agricultura protegida ofrece mayores beneficios en comparación a la agricultura tradicional (mayores rendimientos, calidad, mayor inocuidad en los productos, acceso a mercados internacionales, menor dependencia de las condiciones climáticas, uso adecuado de insumos agrícolas etc.) donde incluso pueden utilizarse los denominados cultivos sin suelo o sistemas hidropónicos (Sánchez-del-Castillo *et al.*, 2014).

En estos sistemas de producción, se hace un uso más racional de agua y nutrientes, por medio de una solución nutritiva adecuada a las necesidades del cultivo con la ayuda de un sistema de riego localizado evitando así desperdicios por aplicaciones excesivas de estos recursos (Roldán, 2015). La nutrición vegetal es un factor importante

para determinar la producción y calidad de los cultivos; por ello, es importante conocer las necesidades nutrimentales del cultivo (Alejo-Santiago *et al.*, 2015).

Existen diversos tipos de sistemas hidropónicos, que pueden ser clasificados como sistemas abiertos y cerrados. Los sistemas hidropónicos abiertos se definen como aquellos donde la solución nutritiva aplicada al sustrato sale del sistema, ya sea que se infiltre en el suelo dentro del invernadero o que se haga una conducción de la solución fuera del invernadero como un desecho. Mientras que en los sistemas cerrados la solución nutritiva drenada por los sustratos se recoge y vuelve a reutilizarse; para esto se debe tener especial cuidado en ajustar el pH, la conductividad eléctrica (CE) y reponer los nutrientes faltantes (Sánchez-del-Castillo *et al.*, 2014).

En los sistemas hidropónicos es fundamental la utilización de sustratos para la producción. Un sustrato es aquel material usado comúnmente en los sistemas de cultivo sin suelo; los hay orgánicos, minerales sintetizados o los provenientes de algún residuo industrial o agrícola. Estos materiales suelen utilizarse en su estado puro, o bien, haciendo mezclas. La función principal de los sustratos, es servir como un contenedor a la planta ayudando en la fijación del sistema radicular y dependiendo de las características del sustrato puede o no aportar nutrientes (Garraña-Hernández *et al.*, 2016).

En México, existe una gran variabilidad de sustratos en el mercado, pero la mayoría de éstos se importan de otros países y dependen de su disponibilidad, además de que los precios se elevan en proporción a los costos de transporte. Es por esto que para reducir costos en la producción hidropónica se recomienda utilizar los sustratos disponibles en la región (Luna-Fletes *et al.*, 2021).

Asimismo, existen los sustratos denominados como orgánicos, los cuales son aquellos creados a partir de residuos vegetales procesados ya sea de forma anaeróbica, aeróbica o con la ayuda de otro tipo de organismos como la lombriz. Este tipo de sustratos poseen buenas características puesto que cuentan con una alta porosidad que a su vez permite una buena aireación y drenaje, además de que tienen una gran capacidad para retener la humedad. Este tipo de sustratos han cobrado importancia en

la actualidad, por su mayor disponibilidad y menor costo. Incluso el productor puede utilizar sus propios desechos agrícolas y generar un sustrato orgánico, mezclarlo con otro tipo de sustratos y así utilizar menor volumen de sustratos comerciales. Además, los sustratos orgánicos poseen nutrientes por si solos, por lo que el productor puede hacer un ajuste en su programa nutricional y ahorrar en la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Bravo *et al.*, 2012).

En relación al consumo de chile, el tipo guajillo se utiliza mayormente en seco para la condimentación de alimentos o en polvo para la elaboración de golosinas, aunque en ocasiones si se ofrece un buen precio puede cosecharse y venderse verde (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). Los principales estados productores de chile seco guajillo son: Durango, San Luis Potosí y Zacatecas con un rendimiento promedio de 2.8 t ha<sup>-1</sup>, mientras que para el rendimiento promedio de chile guajillo seco en invernadero no se tiene registro (SIAP, 2021).

Para obtener el chile seco, el fruto pasa por un proceso de deshidratado que no es otra cosa que extraer el agua interna del fruto con el fin evitar o reducir la actividad de microorganismos que pudiesen afectar la calidad del fruto. Existen muchas técnicas para llevar a cabo este proceso de deshidratado; una de las más utilizadas es el secado en bandejas o estufas que utilizan combustibles fósiles como fuente de energía. Este tipo de sistemas suelen ser eficientes en cuanto a la velocidad de secado, puesto que controlan la temperatura y, el tiempo de secado. Sin embargo, esta técnica requiere un enorme gasto en equipo y en combustibles, además de que contribuye a la contaminación del medio ambiente (Monsalve & Machado, 2007).

También, hay técnicas en las que no se utilizan combustibles fósiles de manera directa y en la que su fuente principal de energía es el sol. Este tipo de técnicas están mayormente relacionadas con el pequeño y mediano productor, por lo que al recibir un menor ingreso por su cosecha el utilizar este tipo de técnicas solares supone un ahorro económico importante en el secado del chile (Costales, 2010).

En la presente investigación se planteó innovar en el proceso productivo del chile guajillo desde su siembra hasta la obtención del producto final. Para esto, se estableció el cultivo en un sistema hidropónico abierto, bajo condiciones de invernadero para aumentar el rendimiento del cultivo y obtener un producto final de calidad. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el rendimiento del fruto, el desarrollo vegetativo y analizar el secado de cuatro variedades criollas de chile guajillo cultivadas en diferentes sustratos y densidades de plantación, en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.



## **2. Objetivos**

### 2.1 Objetivo general

Evaluar el desarrollo vegetativo, el rendimiento del fruto y analizar el secado de cuatro genotipos de chile guajillo, cultivados en diferentes sustratos y densidades de plantación, en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.

### 2.2 Objetivos específicos

- Evaluar los sustratos de fibra de coco y la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost en los genotipos de chile guajillo.
- Comparar el desarrollo vegetativo y el rendimiento en las plantas de chile guajillo cultivadas en dos densidades de plantación (2 y 3 plantas m<sup>-2</sup>).
- Comparar las técnicas de secado y los cuatro genotipos de chile guajillo respecto al tiempo y pérdida de humedad en el proceso de deshidratado.

### **3. Hipótesis**

Los genotipos de chile guajillo cultivados en hidroponia y bajo condiciones de invernadero, utilizando como sustrato la fibra de coco y la mezcla 1:1 de fibra de coco compost muestran un diferente desarrollo vegetativo y rendimiento final.

La velocidad de secado y peso final de los frutos de chile guajillo difieren según la técnica de secado.

#### 4. Literatura citada

- Aguilar-Rincón, V., Torres, T., López, P., Latournerie, L., Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., & Castillo, J. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 144 p.
- Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez-Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.04.015>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7-24. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>
- Bravo, A. N., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., González, J. A., Silvestre, J. M. O., & García-Hernández, J. L. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1203-1216. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123222011>
- Canales, J. M. V., Vera, J. H. C., Rangel, M. I. P., Ávila, J. A., & Ledesma, J. G. O. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827-840. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263138102013>
- Castellón-Martínez, É., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vera-Guzman, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annum* L.) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(SPE5), 27-35. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Costales, R. (2010). Aplicación de la energía renovable en el secado. Estado del arte y su potencial en las producciones agrícolas. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 44(2), 47-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120683008>
- Garruña-Hernández, R., Estrada -Botello, M. A., Borges-Gómez, L., Gayosso-Rodríguez, S., & Villanueva-Couoh, E. (2016). Sustratos Para Producción De Flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246698007>
- Juarez Lopez, P., Bugarin Montoya, R., Castro Brindis, R., Sanchez Monteon, A. L., Cruz Crespo, E., Juarez Rosete, C. R., Alejo Santiago, G., & Balois Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *CONACYT* <http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/567>

- López-Marín, J., Porras, I., Ros, C., & Brotons-Martínez, J. M. (2016). Study of the performance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) crop in greenhouses with the use of shading. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 112(1), 57-71. Scopus. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.004>
- Lúa, A. M., Cué, J. L. G., Velázquez, M. A. J., Botho, B. P., & Escudero, J. S. (2015). Agricultura tradicional en El Botho, Alto Mezquital, estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1215-1227. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263140688006>
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., & Can-Chulim, Á. (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>
- Mayek-Pérez, N., Pérez-Castañeda, L. M., Ramírez-Meraz, M., & Castañón-Nájera, G. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum spp.* *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 117-128. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358636340009>
- Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90470303>
- Moral, A. del, & Omar, J. (2013). Producción de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en hidroponía bajo invernadero: Una opción productiva para los espacios periurbanos. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2202>
- Roldán, G. Q. (2015). Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 25-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524002>
- Sánchez-del-Castillo, F., González-Molina, L., Moreno-Pérez, E. del C., Pineda-Pineda, J., & Reyes-González, C. E. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 261-269. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-73802014000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802014000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- SIAP (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Chile. Cierre de la producción agrícola, 2019. *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Zamudio-Sánchez, F. J., Espinosa-García, N., & Romo-Lozano, J. L. (2008). Índice de sustentabilidad alimentaria global: Tasa de crecimiento alimentaria contra tasa de crecimiento poblacional. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 135-140. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62914209>

# **CAPÍTULO 1. PRODUCCIÓN Y DESARROLLO VEGETATIVO DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE GUAJILLO EN HIDROPONIA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN UN AMBIENTE SEMIÁRIDO**

## **RESUMEN**

El chile es un cultivo de importancia a nivel mundial. En México es apreciado por tener un alto valor nutricional, industrial y económico; sin embargo, la forma tradicional de producirlo se ha visto afectada por diversos factores que limitan su producción. La agricultura protegida es una opción viable para mejorar el rendimiento, mejorando el suministro de agua y solución nutritiva. Se recolectaron frutos de chile guajillo criollo (*Capsicum annuum* L.) para la obtención de semilla en cuatro zonas productoras (Pánfilo Natera (G1) y El Lampotal Tacoaleche (G3) en Zacatecas y El Barril (G1), Villa de Ramos y Las Colonias (G4), en San Luis Potosí). Estos materiales genéticos se probaron dos densidades de plantación (2 plantas m<sup>-2</sup> (D1) y 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2)) y dos sustratos (fibra de coco (S1) y una mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S1)) en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo vegetativo y cuantificar el rendimiento del fruto de los cuatro genotipos bajo esas condiciones. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. Para analizar los datos se utilizó un modelo general lineal con análisis de varianza y comparación de medias con el método de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). Para esto se utilizó el paquete SAS. El genotipo de Las Colonias (G4) con la densidad de población de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2), cultivado en fibra de coco (S1) fue el que produjo el mayor rendimiento; el sustrato a base de fibra de coco (S1) influyó en el número de flores y frutos acumulados por planta, diámetro del tallo y rendimiento final. Por otro lado, la densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2) fue la que produjo mejores rendimientos.

Palabras clave: Genotipos, rendimiento, compost, agricultura protegida.

# PRODUCTION AND VEGETATIVE DEVELOPMENT OF FOUR GENOTYPES OF GUAJILLO PEPPERS IN HYDROPONICS, UNDER GREENHOUSE CONDITIONS IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT

## ABSTRACT

Chili is an important crop worldwide. In Mexico it is appreciated for having a high nutritional, industrial and economic value; however, the traditional way of producing it has been affected by various factors that limit its production. Protected agriculture is a viable option to improve yield, improving the supply of water and nutrient solution. Creole guajillo chile (*Capsicum annuum* L.) fruit were collected to obtain seed in four producing areas (Pánfilo Natera (G2) and El Lampotal Tacoaleche (G3) in Zacatecas and El Barril (G1), Villa de Ramos and Las Colonias). (G4), in San Luis Potosi). These genetic materials were tested at two planting densities (2 plants m<sup>-2</sup> (D1) and 3 plants m<sup>-2</sup> (D2)) and two substrates (coconut fiber (S1) and a 1:1 mixture of coconut fiber and compost (S1)). in a hydroponic system under greenhouse conditions. The objective of this research was to evaluate the vegetative development and quantify the fruit yield of the four genotypes under these conditions. A randomized block experimental design with factorial arrangement and three repetitions was used. To analyze the data, a general linear model was used with analysis of variance and comparison of means Tukey's method ( $p \geq 0.05$ ). For this the SAS package was used. The Las Colonias genotype (G4) with a population density of 3 plants m<sup>-2</sup> (D2), grown in coconut fiber (S1) was the one that produced the highest yield; the coconut fiber-based substrate (S1) influenced the number of flowers and fruit accumulated per plant, stem diameter and final yield. On the other hand, the density of 3 plants m<sup>-2</sup> (D2) was the one that produced the best yields.

Keywords: Genotypes, yield, compost, protected agriculture.

## 1.1 Introducción

El cultivo del chile en México es apreciado por tener un alto valor nutricional, industrial y económico (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016). Los principales estados productores de chile en el país son: Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas y San Luis Potosí (Encalada *et al.*, 2014). La producción de chiles secos como el guajillo (*Capsicum annuum* L.) son base fundamental en la gastronomía mexicana, al ser utilizados en infinidad de platillos típicos, así como para la elaboración de subproductos (Moreno-Pérez *et al.*, 2011). El chile forma parte de la canasta básica alimenticia junto con el maíz y el frijol (Castellón-Martínez *et al.*, 2012).

El cultivo del chile producido de la forma tradicional, se ha visto afectado por diversos factores climáticos y por enfermedades propias del cultivo, obligando al productor a reducir la superficie plantada anualmente, con decremento en la producción y, los ingresos (Amador-Ramírez *et al.*, 2013). El cambio climático es un problema mundial que afecta directamente a la agricultura. Las altas temperaturas provocan desordenes fisiológicos en las plantas (senescencia y lento desarrollo del fruto, pudriciones etc.), lo que genera frutos de baja calidad y menor rendimiento (López-Marín *et al.*, 2016). Por otro lado, la utilización de técnicas de labranza convencional genera un índice alto de erosión en los suelos (Tiessen *et al.*, 2009). Es por ello, que los sistemas hidropónicos representan un importante sistema de producción alterno (Zamudio-Sánchez *et al.*, 2008).

La producción de chile en invernadero es una opción viable para mejorar los rendimientos. Esto puede lograrse mediante un adecuado suministro de agua y fertilizantes a las plantas por medio de la solución nutritiva y evitar así, desperdicios por aplicaciones excesivas (Roldán, 2015). La nutrición vegetal, es un factor importante que determina el rendimiento y la calidad del chile, por ello, es importante conocer las necesidades nutricionales de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo para aplicar un balance adecuado de nutrientes. Todo esto basado en un análisis químico del agua, el sustrato utilizado y las fuentes de los nutrientes agregados (Alejo-Santiago *et al.*, 2015).

El promedio del rendimiento de chile verde en México difiere de acuerdo al uso de la tecnología usada. En la producción a cielo abierto se obtiene un promedio nacional de 17.42 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en invernadero el promedio nacional es de 96.08 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2021).

Es muy probable que el desarrollo y rendimiento de los cuatro genotipos de chile guajillo varíe de acuerdo al sustrato y la densidad de plantación. Flores Gutiérrez *et al.* (2019) obtuvieron rendimientos diferentes en dos genotipos de papa en dos sustratos diferentes. De igual forma, hay investigaciones en las cuales la densidad de plantas influye en el rendimiento final del cultivo (Rodríguez-Montalvo *et al.*, 2021). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo vegetativo y cuantificar la producción del fruto de cuatro genotipos de chile guajillo, no caracterizados, cultivados en diferentes sustratos y densidades de plantación, en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.

## **1.2 Materiales y métodos**

El estudio se realizó durante el ciclo agrícola primavera-otoño 2021, en un invernadero ubicado en el área experimental “La Huerta” del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, en Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México (22° 37´ 30.6” N, 101° 42´ 35.8” O) a una altitud de 2082 msnm (INEGI, 2020). La región es semiárida, con temperaturas promedio de 25.4 °C, con mínima de -5.0 °C y máxima de 34 °C. La precipitación media anual varía de 350 a 425 mm por año (CONAGUA, 2011). El invernadero fue un tipo bi-túnel, sin sistema de calefacción y ventanas laterales manuales, con una superficie total de 800 m<sup>2</sup> y cubierta de polietileno de 8 mm de grosor.



Se recolectó material vegetal criollo de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) en cuatro zonas productoras en el altiplano Potosino-Zacatecano: El Barril Villa de Ramos, San Luis Potosí (G1), San Pablo, Pánfilo Natera, Zacatecas (G2), el Lampotal, Tacoaleche, Zacatecas (G3) y Las Colonias, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí (G4). La siembra del material recolectado se llevó a cabo el 23 de abril de 2021 en charolas de poliestireno de 200 cavidades (Tacsá CH-200) por cada genotipo y se utilizó peat moss (Plantas C HMO®, 102142) como sustrato para la germinación.

Para el desarrollo del cultivo de chile se utilizaron dos tipos de sustratos para las macetas del sistema hidropónico: el primer sustrato consistió en fibra de coco (S1) y el segundo en una mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) de desechos orgánicos. El compost fue cubierto con hule negro, se humedeció y se dejó expuesto al aire libre por 56 horas: luego de esto, se mezcló con la fibra de coco. Para establecer el experimento, las plantas de chile fueron trasplantadas a bolsas de polietileno bicolor (negras al interior y blancas al exterior) con capacidad de 20 L, rellenas con los sustratos. El trasplante se realizó el 26 de mayo de 2021 cuando las plantas alcanzaron de seis a ocho hojas verdaderas.

Se proporcionó riego constante a través de una manguera de 16 mm y goteros (4 L h<sup>-1</sup>) con un conector de inserción para conectar la manguera de 4 mm (espagueti) con una bayoneta por salida. La línea principal de riego fue alimentada por una bomba centrífuga eléctrica de ¼ HP (WEG®, DIP2886) conectada a un tanque de 2,500 L.

Para identificar el comportamiento de las recolectas probadas, se establecieron dos densidades de plantación de chile: 2 plantas m<sup>-2</sup> (D1) y 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2). Al momento de plantar se aplicó un fungicida comercial (Ridomil® 1 ml L<sup>-1</sup> de agua) con un atomizador con capacidad de 1 L (Lion Tools® 1886) directo a la raíz para prevenir la aparición de enfermedades por hongos. Se estimuló el desarrollo radicular con un enraizador comercial (Rootex®, 0.4 g L<sup>-1</sup>) y se automatizó el riego con un temporizador (Volteck® TEM-8), asegurando tres riegos por día, según lo requirió el cultivo. Se midió la temperatura y la humedad relativa del interior del invernadero con un termómetro digital (AVALY®, VA-EDT1).

Para el aporte de nutrientes a las plantas, se utilizó la solución nutritiva (SN) recomendada por Hewit y Smith, modificada por Gómez *et al.* (2019), considerando ajustes en la composición final con base en un análisis químico del agua utilizada. Se utilizaron los siguientes fertilizantes: Urea, Nitrato de Amonio, Nitrato de Potasio, Fosfato Monoamónico y Micronutrientes en forma de quelatos (EDTA) (COSMOCEL®, KELATEX MULTI). La SN se manejó en dos fases, la inicial y la final (Cuadro 1). El cambio de fase en la nutrición lo determinó el desarrollo fenológico del cultivo: la fase inicial promovió el desarrollo vegetativo de la planta y la fase final buscó influir en el llenado y maduración del fruto en la planta. Se colocaron bandejas de drenaje y goteros de control para manejar el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el volumen de riego de la solución nutritiva de entrada y salida de la zona de crecimiento.

**Cuadro 1.** Solución nutritiva (SN) utilizada en la fase inicial y final en el cultivo de chile guajillo ( $\text{g L}^{-1}$ ).

Compuesto químico	SN inicial	SN final
Urea $[(\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$	0.26	0.08
Nitrato de Amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )	0.12	0
Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ )	0.85	1.09
Fosfato Monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )	0.40	0.45
Micronutrientes (Kelatex®)	0.02	0.03

Para el control de plagas y enfermedades se hicieron aplicaciones preventivas con un insecticida comercial (Monitor® 1 ml  $\text{L}^{-1}$ ) y un fungicida (Ridomil® 1 ml  $\text{L}^{-1}$ ). Para esto, se utilizó una mochila aspersora manual tipo pulverizador con capacidad de 15 L (Swissmex® 425015). Se logró controlar el damping-off (marchitamiento fúngico) y el minador de la hoja (*Liriomyza trifolii* Burgess).

Las variables vegetativas evaluadas fueron: altura de las plantas, diámetro de tallo, peso fresco y peso seco de la planta de chile. Para la medición de la altura de la planta se utilizó un flexómetro (Truper® FH-5M) desde la parte baja del tallo hasta la parte más alta de la planta. El diámetro del tallo se determinó con un vernier manual (PRETUL® VER-6P), se midió a 3 cm desde la base medible del tallo, tanto la altura como el diámetro del tallo se hicieron mediciones cada 15 días hasta el final del ciclo (145 días después del trasplante). El peso fresco de las plantas se obtuvo cuando éstas ya no tenían ningún fruto, se cortaron, se introdujeron en bolsas de papel y se pesaron. El peso seco de las plantas se registró cuando ya estaban totalmente secas y habían alcanzado un peso constante.

Las variables reproductivas evaluadas fueron: número de flores, número de frutos y rendimiento total (en fresco). El número de flores y frutos se contabilizó cuando las flores y los frutos estaban totalmente formados, la medición de estas variables se comenzó cuando empezaron a aparecer las primeras flores y frutos, luego de esto se hizo de forma constante cada 15 días hasta el final del ciclo (145 DDT). El rendimiento total se obtuvo al contabilizar el peso acumulado de los chiles producidos y se expresa extrapolado a toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ).

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial ( $4 \times 2 \times 2$ ) y tres repeticiones. Los factores a probar fueron los cuatro genotipos: El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3), y Las Colonias (G4). Los dos sustratos utilizados: fibra de coco (S1) y la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2). Las dos densidades de plantación: 2 plantas  $m^{-2}$  (D1) y 3 plantas  $m^{-2}$  (D2). Con las combinaciones de genotipos, sustratos y densidades de población se formularon 16 tratamientos. La aplicación de tres repeticiones en cada tratamiento contabilizó un total de 48 unidades experimentales.

El análisis estadístico de los datos registrados se llevó a cabo mediante un modelo general lineal con análisis de varianza y comparación de medias identificando diferencias significativas con el método de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). Para esto, se utilizó el paquete SAS versión 3.8 (SAS® OnDemand for Academics).

### 1.3 Resultados y discusión

En el cuadro 2, se muestran las respuestas de las características vegetativas (altura de las plantas, peso fresco y seco de la planta y diámetro de tallo) y reproductivas (número de flores, número de frutos y rendimiento total) del cultivo de chile a diferentes genotipos, densidades de población y sustratos. A los 145 días después del trasplante (DDT) no se aprecian diferencias significativas en la interacción de los tres factores en las siguientes variables: altura de planta, peso fresco y seco de la planta, diámetro de tallo, número de flores y frutos. Sin embargo, en el rendimiento final el tratamiento con un mejor rendimiento fue el de el genotipo de Las Colonias (G4) cultivado en fibra de coco (S1) con una densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2).

**Cuadro 2.** Prueba de medias de las variables vegetativas y reproductivas del cultivo de cuatro genotipos de chile, a dos densidades de plantación y usando dos sustratos a los 145 días después del trasplante.

Tratamientos	AP (cm)	PF (g)	PS (g)	DT (cm)	NFL (#)	NF (#)	RT (t ha <sup>-1</sup> )
G1D1S1	104.3 a	899.3 a	205.2 a	1.7 a	77.0 a	107.3 a	58.7 b
G1D2S1	103.7 a	966.3 a	229.8 a	1.8 a	128.3 a	128.0 a	106.4 ab
G1D1S2	112.7 a	899.3 a	204.8 a	1.7 a	129.0 a	107.7 a	61.3 b
G1D2S2	120.7 a	639.3 a	159.1 a	1.6 a	78.0 a	71.0 a	61.5 b
G2D1S1	102.3 a	1175.3 a	267.1 a	2.2 a	135.7 a	121.0 a	102.9 ab
G2D2S1	89.0 a	696.0 a	169.0 a	1.8 a	116.0 a	148.0 a	87.4 ab
G2D1S2	103.7 a	848.7 a	194.5 a	1.7 a	86.7 a	103.0 a	46.6 b
G2D2S2	102.0 a	874.7 a	206.4 a	1.9 a	96.3 a	66.7 a	94.2 ab
G3D1S1	104.3 a	962.0 a	237.8 a	1.9 a	123.0 a	145.0 a	67.3 b
G3D2S1	98.3 a	743.0 a	169.2 a	1.9 a	116.7 a	154.3 a	80.4 ab
G3D1S2	119.3 a	856.7 a	214.6 a	1.6 a	94.0 a	82.7 a	61.9 b
G3D2S2	110.3 a	684.7 a	166.7 a	1.7 a	84.3 a	68.3 a	62.5 b
G4D1S1	100.3 a	809.3 a	188.3 a	2.0 a	78.7 a	94.0 a	66.2 b
G4D2S1	129.0 a	1034.7 a	219.2 a	1.9 a	109.3 a	123.7 a	155.0 a
G4D1S2	95.0 a	838.7 a	183.5 a	1.5 a	68.3 a	47.0 a	63.4 b
G4D2S2	106.3 a	810.0 a	192.9 a	1.7 a	64.0 a	120.3 a	79.3 ab

Genotipos: El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3), Las Colonias (G4). Densidades de plantación: 2 plantas m<sup>-2</sup> D1), 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2). Sustratos: fibra de coco (S1), mezcla 1:1 fibra de coco y compost (S2). <sup>a</sup>Altura de la Planta (AP), Peso Fresco de la planta (PF), Peso Seco de la planta (PS), Diámetro de Tallo (DT), Número de Flores (NFL), Número de Frutos (NF), Rendimiento Total (RT). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

Los genotipos de Chile, mostraron diferencias estadísticas en la altura, medida en tres fechas de muestreo (2, 16 y 30 DDT respecto de los 145 días de crecimiento) (Cuadro 3). El genotipo de Pánfilo Natera (G2) mostró una altura menor con respecto a los demás genotipos durante los muestreos. Esto quizá se debe a la variabilidad existente dentro de este genotipo respecto a los demás. Moreno-Pérez *et al.* (2011) mencionan que existe variabilidad morfológica y fenológica de las plantas de Chile guajillo, en las flores y frutos debido a la variación genética entre las plantas. El desarrollo vegetativo de las plantas de Chile probablemente está relacionado con variables climáticas (temperatura y humedad relativa) y, por ende, se comporten de forma distintas entre sí, posiblemente por sus características genéticas propias.

**Cuadro 3.** Efecto de los genotipos en la altura de las plantas de Chile (DDT).

Genotipo	2 DDT	16 DDT	30 DDT
G1	19.3 <b>a</b>	28.1 <b>a</b>	52.0 <b>a*</b>
G2	15.8 <b>b</b>	25.1 <b>b</b>	46.3 <b>b</b>
G3	20.0 <b>a</b>	28.6 <b>a</b>	50.3 <b>ab</b>
G4	19.2 <b>a</b>	27.2 <b>a</b>	49.9 <b>ab</b>

\*Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ). Genotipos: El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3), Las Colonias (G4). DDT = días después del trasplante.

Los sustratos utilizados provocaron un efecto en la altura de las plantas de Chile en las primeras fechas de muestreo (Cuadro 4). Esto quizá se debe a que la nutrición es aprovechada por la planta de forma distinta y, por ende, se tienen alturas diferentes. Beltrán-Morales *et al.* (2016) encontraron que la altura de las plantas de Chile jalapeño está relacionada con el tipo de sustrato utilizado y la fertilización como complemento en caso de ser sustratos orgánicos. Grazia *et al.* (2011) mencionan que la mezcla de materiales compostados en los sustratos mejora la calidad de la planta, sin embargo, se debe mantener un equilibrio entre los nutrientes aportados por el compost y la solución nutritiva. Las plantas de Chile evaluadas mostraron mayor altura con la mezcla de sustratos 1:1 de fibra de coco y compost (S2). Probablemente el compost aportó mayores nutrientes que la fibra de coco sola y logró una sinergia con la solución nutritiva inicial.

**Cuadro 4.** Efecto de los sustratos en la altura de las plantas de chile en las primeras fechas de muestreo.

Sustrato	2 DDT	16 DDT	30 DDT
S1	18.4 <b>a</b>	26.1 <b>b</b>	48.1 <b>b</b>
S2	18.8 <b>a</b>	28.4 <b>a</b>	51.2 <b>a*</b>

\*Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ). Fibra de coco 100% (S1), mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2).

El diámetro del tallo mostró un efecto debido al tipo de sustrato usado solo en la última fecha de muestreo (145 DDT) (Cuadro 5). La utilización de sustratos orgánicos elaborados a partir de desechos orgánicos provee características físicas y nutrimentales adecuadas para la germinación y el desarrollo de plantas de chile tipo onza (López-Baltazar *et al.*, 2013). Sin embargo, la aplicación de una solución nutritiva completa a un sustrato orgánico puede provocar un incremento en la CE, lo que puede generar un desarrollo vegetativo menor. Lopes *et al.* (2019) mencionan que las plantas de chile se consideran tolerantes a la salinidad, pero en valores mayores a 2.5 dS m<sup>-1</sup> se presenta una disminución en el desarrollo vegetativo.

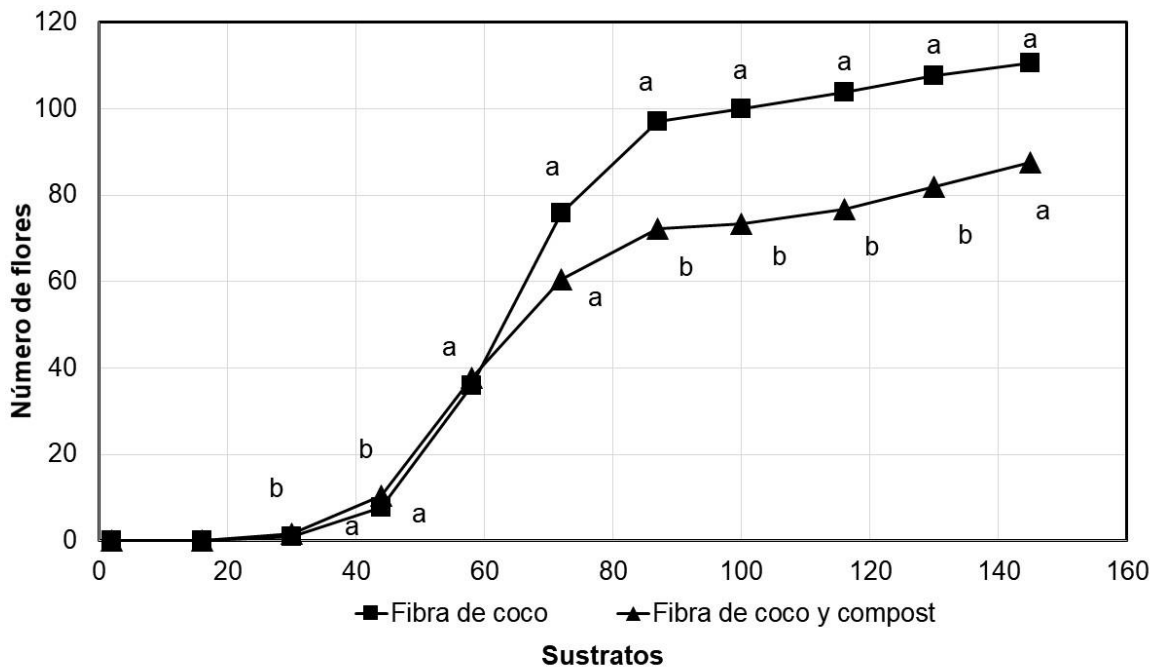
**Cuadro 5.** Efecto de los sustratos en el diámetro de tallo a los 145 DDT.

Sustrato	Medias
S1	1.9 <b>a*</b>
S2	1.7 <b>b</b>

\*Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ). Fibra de coco 100% (S1), mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2).

Se observó que la floración de las plantas de chile fue influenciada por el tipo de sustrato en las que se cultivaron (Figura 1). En la etapa de crecimiento vegetativo, la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) fue la que promovió un mayor número de flores, sin embargo, a partir del día 87 DDT, el sustrato fibra de coco (S1) produjo el mayor número de flores acumuladas.

Esto pudiera ser debido a que la mezcla de fibra de coco y compost 1:1 (S2) aportó más nutrientes a la planta en las primeras fechas de muestreo, pero con el paso de los días y con la aplicación de la SN acumuló una mayor cantidad de sales. Las plantas de chile expuestas a una conductividad eléctrica mayor a  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$  reduce considerablemente la absorción de nutrientes y por este motivo se reduce la floración (Villa-Castorena, 2006). Por otro lado, se ha encontrado que el número de flores por planta está relacionado con la temperatura ambiente, la humedad, el tipo de labranza y el tipo de sustrato utilizado en el establecimiento del cultivo (Valle *et al.*, 2014).

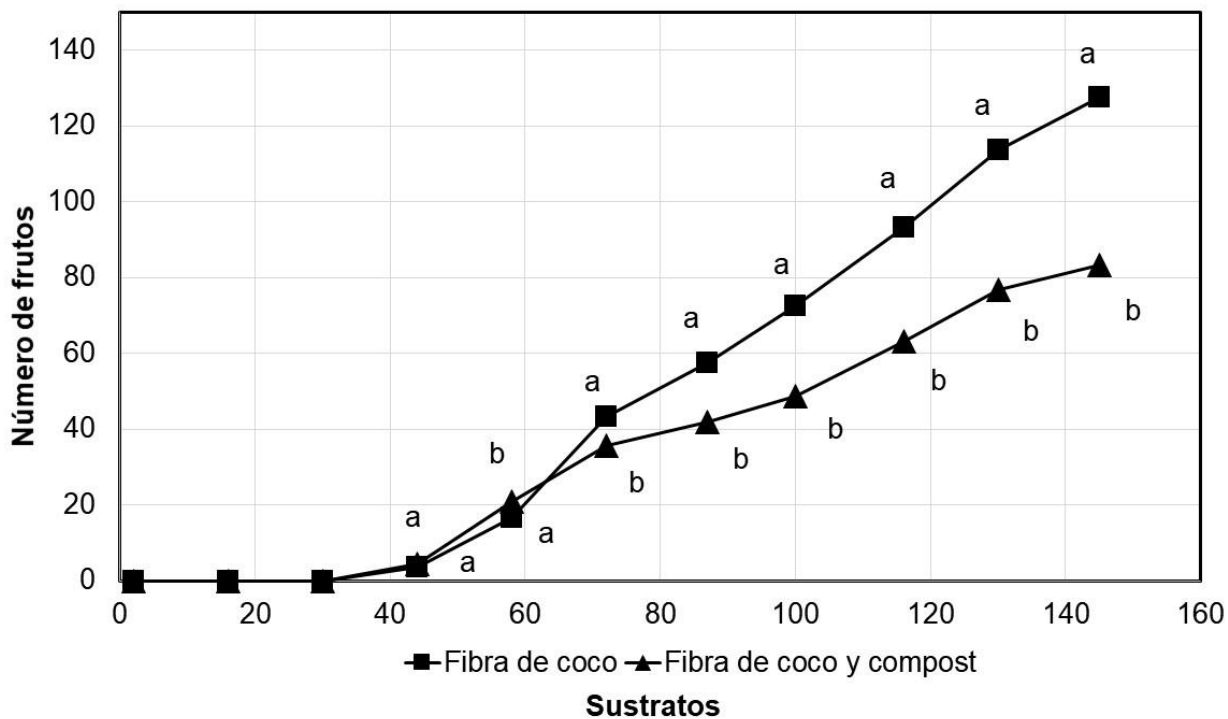


**Figura 1.** Floración acumulada de las plantas de chile cultivadas en los diferentes sustratos. Medias con la misma letra en cada fecha de muestreo no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

El número de frutos por planta de chile mostró un efecto de acuerdo al sustrato utilizado (Figura 2). En dos fechas de muestreo, cuando comenzaron a aparecer los primeros frutos, la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) registró el mayor número de frutos por planta. Sin embargo, a partir del día 72 DDT el sustrato de fibra de coco (S1) produjo el mayor número de frutos hasta el final del ciclo. Es probable que esto se deba a que la mezcla de sustratos y la aplicación de una SN completa utilizando agua de riego con una mayor conductividad eléctrica genere una mayor retención de nutrientes en el sustrato, provocando una conductividad eléctrica mayor a  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ , con un efecto negativo en la disponibilidad de la planta.

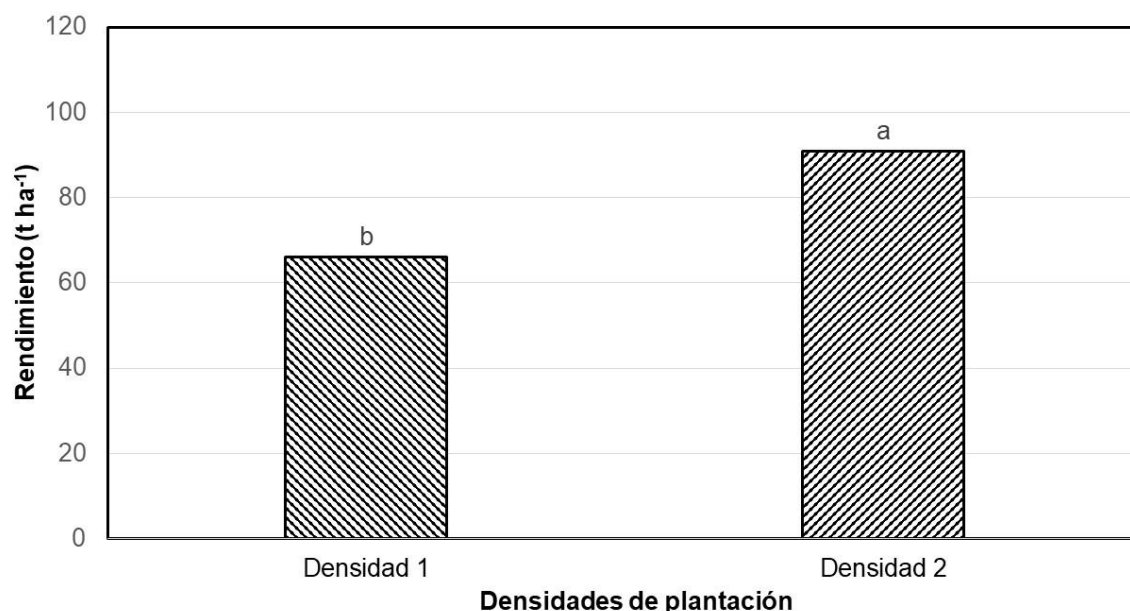
La salinidad en los cultivos afecta de varias formas. Los principales efectos negativos tienen que ver con el desarrollo vegetativo y reproductivo, lo que genera que los cultivos produzcan un menor número de frutos (Goykovic Cortés & Saavedra del Real, 2007). Por ello, la salinidad en los cultivos se considera una limitante para la obtención de altos rendimientos, esto debido a la inhibición de procesos metabólicos esenciales para la planta generado por un exceso de iones salinos (Rodríguez-Álvarez *et al.*, 2020). Esto indica que la calidad del agua de riego es de vital importancia para la nutrición de la planta y el mayor cuajado de frutos de chile, característica apreciada por los consumidores.





**Figura 2.** Frutos acumulados de las plantas de chile cultivadas en los diferentes sustratos. Medias con la misma letra en cada fecha de muestreo no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

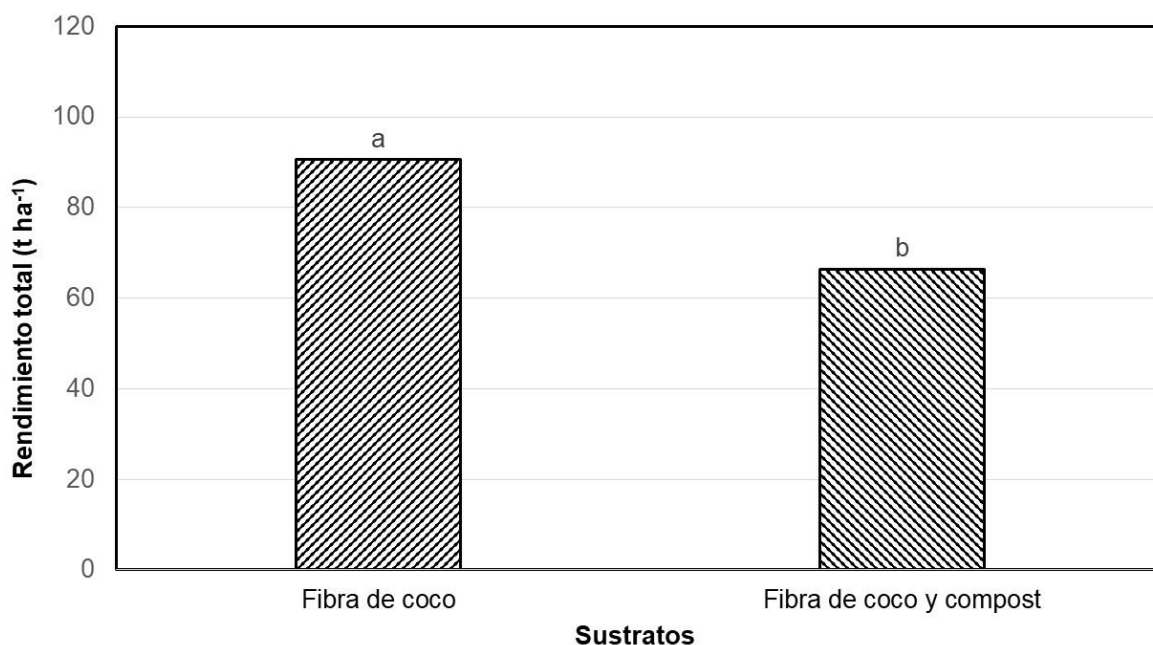
La densidad de plantación de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) produjo un mayor rendimiento en comparación a la densidad de 2 plantas  $m^{-2}$  (D1) (Figura 4). Las densidades de plantación altas en la producción de hortalizas en invernadero permiten aprovechar en mayor medida el espacio de cultivo. Esto se relaciona con lo encontrado por Martínez-Gutiérrez *et al.* (2021), quienes experimentaron con plantas de chile huacle en invernadero y las sometieron a diferentes densidades de plantación (2, 3 y 4 plantas  $m^{-2}$ ) donde la mayor densidad obtuvo un mayor rendimiento. También Monge-Pérez & Monge-Pérez. (2016) probaron tres densidades de plantación en pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero y encontraron que las densidades con mayor rendimiento fueron las de 2.60 plantas  $m^{-2}$  y 3.90 plantas  $m^{-2}$ . Por lo que el género *Capsicum* puede ser producido de forma intensiva en invernadero, con densidades de plantación mayores a las utilizadas a cielo abierto.



**Figura 3.** Efecto de la densidad de plantación en el rendimiento total de plantas de chile ( $t\ ha^{-1}$ ). Densidades de plantación: 2 plantas  $m^{-2}$  (D1), 3 plantas  $m^{-2}$  (D2). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

El sustrato de fibra de coco (S1) obtuvo el mayor rendimiento en comparación a la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) (Figura 5). Es posible que esto se deba a que el sustrato de fibra de coco (S1) no se caracteriza por ser rico en nutrientes y es por ello que se complementó mejor con la SN. En cambio, la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2), específicamente el compost al ser un sustrato creado a partir de desechos orgánicos contiene nutrientes por sí solo. Esto provocó que en la mezcla de sustratos más la SN concentrarán una mayor cantidad de nutrientes y por ende registrara una conductividad eléctrica ( $dS\ m^{-1}$ ) mayor al sustrato de fibra de coco (S1), lo que provocó un menor rendimiento en las plantas de chile cultivadas en la mezcla de sustratos (S2). La utilización de abonos generados a partir de desechos orgánicos tiende a incrementar la CE por efecto de la aparición de sales solubles en el medio (Montoya-Jasso *et al.*, 2021).

Moreno Reséndez *et al.* (2014) probaron 4 mezclas de vermicompost y arena sin aplicar SN (1:1, 1:2, 1:3 y 1:4) y un testigo (arena más SN) en plantas de chile húngaro también conocido como “chile güero” en condiciones protegidas donde los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos fueron el T1 (mezcla 1:1 vermicompost-arena) y el testigo (arena más SN). Esto quiere decir al usar mezclas de sustratos orgánicos se debe tener especial cuidado para complementar la nutrición del cultivo diferencia de sustratos inertes en donde es necesario la aplicación de una SN completa, de acuerdo a los requerimientos del cultivo.

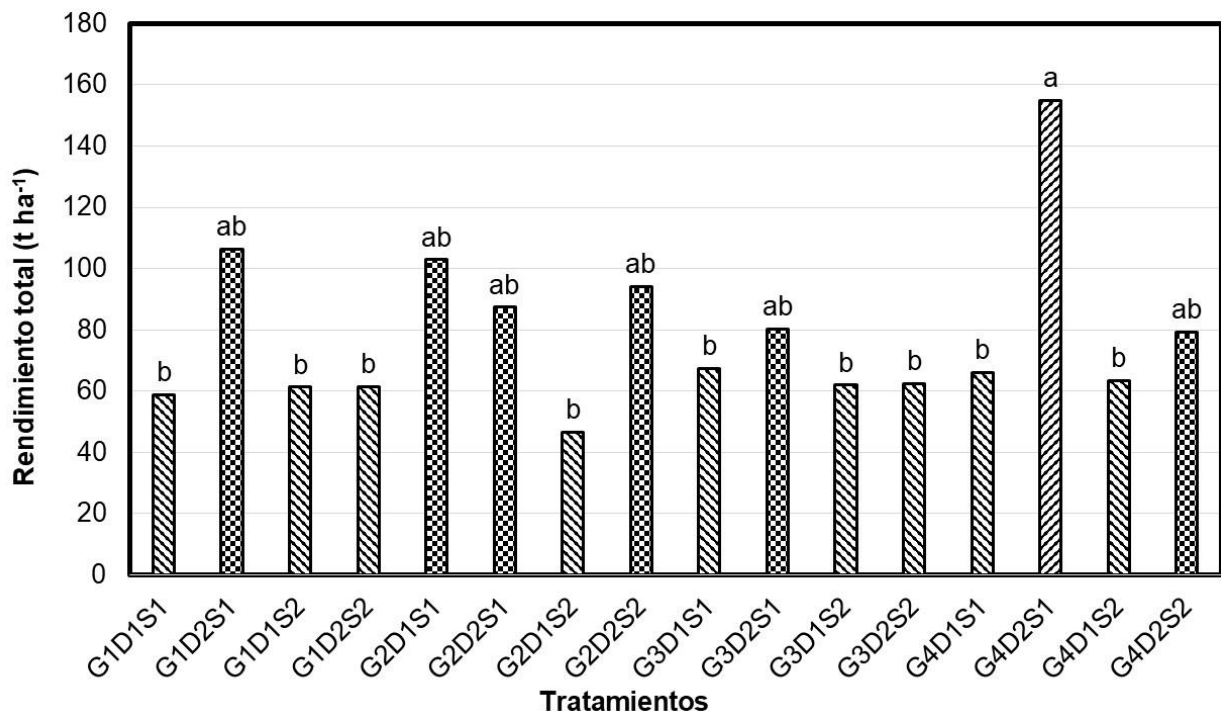


**Figura 4.** Efecto de los sustratos en el rendimiento total (t ha<sup>-1</sup>). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

Sobre el rendimiento total de las plantas de chile (t ha<sup>-1</sup>) el genotipo de Las Colonias (G4), con una densidad de plantación de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2) y cultivado en el sustrato de fibra de coco (S1) registró el mayor promedio (Figura 5). Es posible que el genotipo de Las Colonias (G4) se adaptara mejor al ambiente debido a que es originario de la región geográfica en la que se realizó la investigación.

Se ha probado que las plantas de chile guajillo expresan un mayor potencial de acuerdo a la zona donde se cultive y a la tecnología utilizada (Santiago-López *et al.*, 2020). Es probable que otro factor que influyó en el rendimiento obtenido fue que el sustrato más inerte (la fibra de coco) tuvo una sinergia mayor con la SN en comparación a la mezcla de sustratos.

Esto concuerda con lo encontrado por Fortis-Hernández *et al.* (2012) quienes probaron diferentes sustratos en la producción de chile pimiento morrón (T1= vermicompost A + arena 1:1, T2= Biocompost + arena 1:1, T3= vermicompost B + arena 1:1 y T4= arena) además de una SN aplicada al 50% en las etapas de desarrollo vegetativo y 100% en la etapa de producción, donde el tratamiento con un mayor rendimiento fue el sustrato de arena más SN (testigo), (material inerte). Además, se encontró que en los tratamientos donde se utilizó vermicompost se registraron los valores más altos en la CE (interacción no esperada).



**Figura 5.** Rendimiento total de plantas de chile (t ha<sup>-1</sup>). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ). Genotipos: El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3), Las Colonias (G4). Densidades de plantación: 2 plantas por m<sup>2</sup> (D1), 3 plantas por m<sup>2</sup> (D2). Sustratos: fibra de coco (S1), mezcla 1:1 fibra de coco y compost (S2).

## 1.4 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos:

Los genotipos de chile guajillo se comportaron de forma distinta en cuanto a su rendimiento total. El genotipo Las Colonias (G4), con una densidad de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) y cultivado en fibra de coco (S1), registró el mayor rendimiento total ( $t\ ha^{-1}$ ).

La densidad de plantación de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) al tener una densidad de plantación mayor a la densidad de 2 plantas  $m^{-2}$  (D1) fue la que obtuvo un mayor rendimiento total ( $t\ ha^{-1}$ ).

El sustrato de fibra de coco al 100% (S1) produjo un diámetro de tallo mayor, un mayor número de flores y mayor número de frutos por planta, así como un mayor rendimiento total en comparación a la mezcla de sustratos (1:1 fibra de coco y compost) (S2).

## 1.5 Literatura citada

- Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez-Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.04.015>
- Amador-Ramírez, M. D., Velásquez-Valle, R., Sánchez-Toledano, B. I., & Acosta-Díaz, E. (2013). Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 543-555. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342013000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-90282016000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90282016000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- CONAGUA (2011). *Comisión Nacional del Agua* <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- Encalada, M. C., Morales, C. L., & Santana, J. R. (2014). Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Revista de Economía, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán*, 31(83), 96-96. <https://doi.org/10.33937/reveco.2014.50>
- Flores Gutiérrez, F. X., Flores López, R., Mora Herrera, M. E., & Franco Mora, O. (2019). Productividad de dos genotipos mexicanos de papa en perlita y agregados en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1823-1835. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1936>

- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Navarro Bravo, A., Antonio-González, J., & Omaña Silvestre, J. M. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimienta morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1203-1216. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342012000600011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342012000600011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Grazia, J. D., Chiesa, Á., & Tiftonell, P. A. (2011). Fertilización nitrogenada en plantines de pimienta (*Capsicum annuum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados: Efecto sobre los parámetros de calidad del plantín. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 175-186. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837648012>
- 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*, 10(SPE22), 43-51. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1857>
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- INEGI. (2020). Estadísticas geográficas <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=24>
- Lopes, M. de F. de Q., de Andrade, F. H. A., da Silva, R. T., Lima, L. K. S., Bruno, R. de L. A., & da Nogueira, A. L. S. P. (2019). Tolerancia a la salinidad de chiles (*Capsicum annuum* L.) sometidos a diferentes concentraciones de NaCl- en agua de riego. *Idesia (Arica)*, 37(3), 75-80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300075>
- López-Baltazar, J., Méndez-Matías, A., Pliego-Marín, L., Aragón-Robles, E., & Robles-Martínez, M. L. (2013). Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile «onza» (*Capsicum annuum* L.) en invernadero. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(SPE6), 1139-1150. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342013001000006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013001000006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- López-Marín, J., Porras, I., Ros, C., & Brotons-Martínez, J. M. (2016). Study of the performance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) crop in greenhouses with the use of shading. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 112(1), 57-71. Scopus. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.004>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Langlé-Argüello, L. A., Urrestarazu, M., Escamirosa-Tinoco, C., Hernández-Tolentino, M., Morales, I., Martínez-Gutiérrez, G. A., Langlé-Argüello, L. A., Urrestarazu, M., Escamirosa-Tinoco, C., Hernández-Tolentino, M., & Morales, I. (2021). Efecto de la densidad de plantación y la poda en el chile

- huacle en invernadero. *Idesia (Arica)*, 39(3), 69-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300069>
- Monge-Pérez, J. E., & Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2), 125-136. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2696>
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>
- Moreno Reséndez, A., Rodríguez Dimas, N., Reyes Carrillo, J. L., Márquez-Quiroz, C., & Reyes González, J. (2014). Comportamiento del chile húngaro (*Capsicum annuum* L.) en mezclas de vermicompost- arena bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 97-111. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1853-86652014000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-86652014000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Moreno-Pérez, E. del C., Avendaño-Arrazate, C. H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V. H., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 23-30. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Rodríguez-Álvarez, M., Morales-Roblero, N., Batista-Sánchez, D., Mazón-Suástegui, J. M., Rodríguez-Álvarez, M., Morales-Roblero, N., Batista-Sánchez, D., & Mazón-Suástegui, J. M. (2020). *Natrum muriaticum* atenúa el estrés por NaCl en *Capsicum annuum* L. var. *Glabriusculum*. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 197-216. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.677>
- Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P., & Rosario-Arellano, J. L. D. (2021). Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676>
- Roldán, G. Q. (2015). Producción de Chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 25-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524002>
- SIAP (2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Chile. Cierre de la producción agrícola, 2019. *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>



- Tiessen, K. H. D., Villatoro, M., Sancho, F., Mehuys, G. R., & Lobb, D. A. (2009). Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 205-215. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43613279006>
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P. A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña, A. (2016). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile poblano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1005-1015. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342016000501005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342016000501005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Valle, R. V., Díaz, E. A., Toledano, B. I. S., & Ramírez, M. D. A. (2014). Floración y fructificación de chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) con labranza reducida, labranza convencional o incorporación de avena al suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1001-1013. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532008>
- Villa-Castorena, M. (2006). La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrimentos en plantas de chile. *Revista Terra latinoamericana*, 24(3), 391-391. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1493>
- Zamudio-Sánchez, F. J., Espinosa-García, N., & Romo-Lozano, J. L. (2008). Índice de sustentabilidad alimentaria global: Tasa de crecimiento alimentaria contra tasa de crecimiento poblacional. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 135-140. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62914209>

## **CÁPITULO 2. EVALUACIÓN DEL SECADO DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE GUAJILLO (*Capsicum annuum* L.) UTILIZANDO TÉCNICAS ECOLÓGICAS**

### **RESUMEN**

El chile, junto con otros cultivos (maíz, calabaza, frijol, cacao, aguacate, tomate entre otros.) forma parte de los alimentos tradicionales en México desde las civilizaciones antiguas. La producción de chile seco, específicamente el guajillo, es de gran importancia comercial, utilizado tanto en la gastronomía como en la industria. La principal y mejor forma, por su valor comercial, como se vende el chile, es en seco. Sin embargo, el secado de este producto mediante la utilización de combustibles fósiles puede llegar a ser costoso y el uso del equipo puede ser complicado para el productor, además de contribuir en la contaminación del medio ambiente. Por ello, la utilización de la energía solar para el proceso de secado, es una opción viable para bajar los costos de producción y evitar así contaminar el medio ambiente por efecto de esta actividad. Se recolectó material vegetal de cuatro genotipos de cuatro zonas productoras en el altiplano Potosino-Zacatecano (Pánfilo Natera (G2) y el Lampotal Tacoaleche (G3) en Zacatecas y El Barril (G1), Villa de Ramos y Las Colonias (G4), Salinas en San Luis Potosí), fueron cultivados bajo invernadero utilizando dos tipos de sustrato (fibra de coco (S1) y una mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2)). Al momento de la cosecha, fueron seleccionados 18 frutos por genotipo para posteriormente ser deshidratados utilizando tres técnicas de secado mediante energía solar: solar directa (T1), a la sombra (T2) y en túnel (T3). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el uso de un modelo general lineal, con análisis de varianza y prueba de medias con el método de Tukey ( $p \geq 0.05$ ), para esto se utilizó el paquete estadístico SAS. El genotipo de Pánfilo Natera (G4) fue el que tardó más tiempo en lograr un peso constante, además de que fue el que registró en promedio el peso final mayor. Las técnicas de secado solar y en túnel fueron las que secaron más rápidamente el chile; sin embargo, el secado a la sombra fue el que obtuvo en promedio los frutos con el peso final mayor.

Palabras clave: genotipos, técnicas de secado, sustratos, energía solar.

## ABSTRACT

Chili, along with other crops (corn, squash, beans, cocoa, avocado, tomato among others.) has been part of the traditional foods in Mexico since ancient civilizations. The production of dried chili, specifically the guajillo, is of great commercial importance, used both in gastronomy and in industry. The main and best way, due to its commercial value, as chili is sold, is drying. However, the drying process of this product through the use of fossil fuels can be expensive and the use of the equipment can be complicated for the producer, in addition to contributing to the contamination of the environment. Therefore, the use of solar energy for the drying process is a viable option to lower production costs and thus avoid contaminating the environment as a result of this activity. Plant material of four genotypes was collected from four producing areas in the Potosino-Zacatecano highlands (Pánfilo Natera (G2) and Lampotal Tacoaleche (G3) in Zacatecas and El Barril (G1), Villa de Ramos and Las Colonias (G4), Salinas in San Luis Potosí), were grown under a greenhouse using two types of substrate (coconut fiber (S1) and a 1:1 mixture of coconut fiber and compost (S2)). At harvest time, 18 fruits per genotype were selected to be subsequently dehydrated using three solar energy drying techniques: direct sunlight (T1), shade (T2) and tunnel (T3). A randomized complete block experimental design with factorial arrangement and three repetitions was used. Data analysis was carried out using a general linear model, with analysis of variance and test of means with the Tukey method ( $p \geq 0.05$ ), for this the SAS statistical package was used. The Pánfilo Natera (G4) genotype was the one that took the longest to achieve a constant weight, in addition to being the one that registered the highest final weight on average. The solar and tunnel drying techniques were the ones that dried the chili faster; however, drying in the shade was the one that obtained, on average, the fruits with the highest fine weight.

Keywords: genotypes, drying techniques, substrates, solar energy.

## 2.1 Introducción

El chile en México (*Capsicum annuum* L.) junto con otros cultivos (maíz, calabaza, frijol, cacao, aguacate, tomate entre otros.) forma parte de alimentos tradicionales desde las civilizaciones antiguas, con un consumo *per cápita* actual de 8 kg. Existe una gran variabilidad dentro del género *Capsicum* y puede encontrarse tanto en fresco como seco (Martínez-Damián *et al.*, 2019). La producción de chile seco, especialmente el guajillo es de gran importancia comercial, utilizado ampliamente en la gastronomía y en la elaboración de colorantes, entre otras cosas (Campomanes *et al.*, 2019).

La producción de chile deshidratado en México es de un 40 % aproximadamente de todos los chiles cultivados, de los cuales destacan los siguientes: puya, de árbol, pasilla, guajillo, mulato y ancho. El chile seco adquiere un valor agregado por efecto de la cadena productiva (producción, cosecha, acopio, deshidratado y distribución al consumidor final) por lo que para poder competir en el mercado no solo es importante el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) si no bajar los costos de producción (Hernández & Frausto, 2010). Los principales estados en los que se produce esta hortaliza con fines de secado son: Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Durango, Guanajuato y Aguascalientes (Galindo González, 2007).

El secado de los alimentos es una de las técnicas más antiguas para su conservación. Se define como la aplicación de calor (aire caliente) para evaporar la mayor cantidad de agua posible. Esto se hace con el propósito de conservar en buen estado el mayor tiempo posible el producto por medio de la remoción del agua existente (Espinoza, 2016). El secado por medio de aire caliente, consecuencia de la utilización de hidrocarburos, es una técnica eficiente puesto que se controla la dirección del aire, la temperatura y el tiempo de secado (Monsalve & Machado, 2007). Sin embargo, este método de secado implica un enorme gasto en el equipo y en combustible, lo que eleva los costos de producción de una forma considerable, además de que contribuye en gran medida a la degradación del medio ambiente participando de forma activa en las emisiones de gases de efecto invernadero (Otero-Rambla *et al.*, 2011).

La utilización de la energía solar para el proceso de secado es una opción viable para bajar los costos de producción, además de que este método emplea equipamiento de baja tecnología y sencillo para el uso del productor (Mariconda *et al.*, 2014). La energía solar para el secado de alimentos favorece al medio ambiente, es por eso que se le considera como una alternativa ecológica, además de que ayuda a depender cada vez menos de los combustibles fósiles para esta actividad (Costales, 2010).

Existen diferentes técnicas de secado en las cuales se utiliza la energía solar. Una de las más antiguas usadas por el hombre y que hoy en día se sigue utilizando, es la que consiste en exponer directamente al sol el producto a deshidratar comúnmente conocida como secado al sol (Rodríguez *et al.*, 2017). También, existe una técnica en la cual consiste en colocar el producto en una superficie protegida por una estructura techada y ventilada permitiendo así que el flujo de aire entre en contacto directo con el producto a deshidratar, conocida como secado a la sombra o secado solar indirecto (Montejo-Sierra *et al.*, 2018). El secado en túnel es en la que se utiliza una estructura basada en el diseño de un invernadero, el cual se instala una cubierta de polietileno y se coloca el producto a secar dentro, aprovechando el calor atrapado en la estructura, además de que esta protege de agentes externos que pudieran dañar el producto (Quintanar Olguin *et al.*, 2017).

Con lo antes expuesto, se considera que, debido a la técnica de secado empleada, el secado de los cuatro genotipos varíe en cuanto a la pérdida de humedad y, el tiempo de exposición requerido para el secado. Por ello, el objetivo de esta investigación fue comparar el secado de los cuatro genotipos de chile guajillo, así como la velocidad de secado con cada una de las técnicas utilizadas.

## 2.2 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el mes de octubre de 2021 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México (22° 37' 56.2" N, 101° 42' 44.4" O) a una altitud de 2,082 msnm (INEGI, 2020). La región se caracteriza por tener un clima semiárido con temperaturas promedio de 25.4 °C (máxima 34 °C y mínima -5.0 °C) con una precipitación promedio anual que va de los 350 mm a los 425 mm (CONAGUA, 2011).

Se recolectó material vegetal de cuatro genotipos de chile guajillo de distintas zonas productoras de la región: El Barril, Villa de Ramos, San Luis Potosí (G1), San Pablo, Pánfilo Natera, Zacatecas (G2), El Lampotal, Tacoaleche, Zacatecas (G3) y Las Colonias, Salinas en San Luis Potosí (G4). El material vegetal recolectado se cultivó en un invernadero con hidroponia, utilizando dos sustratos (fibra de coco (S1) y una mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2)).

La cosecha de los frutos se realizó cuando llegaron a una etapa de madurez fisiológica en la cual cambian del color verde a un rojo. El corte se determinó de acuerdo a la cantidad de frutos maduros por planta y se realizaron tres cortes. Durante el segundo corte, en el cual se registró el mayor número de frutos maduros por planta, se llevó a cabo un muestreo para seleccionar los frutos que serían evaluados durante el proceso de secado. Éstos tendrían que haber alcanzado su etapa de madurez fisiológica, no debían tener ningún tipo de daño físico y, además, tener un tamaño dentro del promedio. En total se seleccionaron 18 frutos por genotipo, de los cuales la mitad provenían de plantas cultivadas en la fibra de coco (S1) y los otros de las plantas cultivadas en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2). Cada fruto se pesó individualmente en una báscula de 0.1 g de precisión (Ohaus® CX 220) y se repartieron en partes iguales para cada técnica de secado (secado solar (T1), secado a la sombra (T2) y secado en túnel (T3)).

En el secado solar (T1) los frutos se colocaron en una superficie a base de concreto de 16 m<sup>2</sup> al aire libre, la cual se cubrió con hule negro para impedir el contacto directo de los frutos con el suelo y se cercó con maya como medida de precaución. Por la tarde-noche cuando el sol se ocultaba los frutos se cubrían con hule negro para evitar que el rocío o sereno fuese a humedecer las muestras y se volvían a destapar por la mañana, al amanecer. En secado a la sombra (T2), se utilizó una estructura construida a base de ladrillo y cemento con techo de bóveda y ventanas laterales manuales, con una superficie total de 25 m<sup>2</sup> en la que se colocó una cubierta de hule negro en el suelo para colocar las muestras. Por último, en el secado en túnel (T3) las muestras se colocaron dentro de una estructura cubierta de plástico de polietileno de un calibre de 600 galgas y en la parte inferior se colocó hule negro para impedir el contacto directo de los frutos con el suelo.

Las muestras de chile utilizadas en las tres técnicas de secado se pesaron diariamente hasta que lograron un peso constante. Para llevar un registro de las muestras de cada una de las técnicas de secado se les colocó una etiqueta de papel con una breve descripción y los datos se registraron en una hoja de cálculo de Excel®. También, se registró la temperatura promedio en cada uno de los métodos de secado la cual fue tomada a la 1:00 pm, esto debido a que a esta hora se registraban las mayores temperaturas; se utilizó un termómetro digital (AVALY®, VA-EDT1).

Las variables evaluadas fueron el tiempo requerido para alcanzar el peso constante, el porcentaje de humedad extraída y el peso final (g). El tiempo se midió desde que las muestras fueron sometidas al secado en las diferentes técnicas hasta que llegaron a su peso constante. En cuanto al porcentaje de humedad extraída se calculó utilizando los registros de los pesos en gramos por día que registraron las muestras de chile. Para transformar los pesos en gramos de las muestras a porcentaje de humedad extraída se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{P1 - P2}{P1} \times (100) = \% \text{ Humedad}$$

Dónde:

P1 = peso inicial

P2 = peso final

Para obtener el peso final las muestras fueron pesadas a diario manteniendo un horario fijo (7:00 pm), hasta que las muestras llegaron a un peso constante.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial (4\*2\*3) y tres repeticiones. Los factores a probar fueron los cuatro genotipos (El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3) y Las Colonias (G4)), los dos sustratos utilizados (la fibra de coco (S1) y la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2)) y las tres técnicas de secado (Secado solar (T1), secado a la sombra (T2) y secado en túnel (T3)). Con las combinaciones de genotipos, sustratos y técnicas de secado se formularon 24 tratamientos. La aplicación de tres repeticiones en cada tratamiento contabilizó un total de 72 unidades experimentales.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante un modelo general lineal con análisis de varianza y comparación de medias con el método de Tukey ( $p \geq 0.05$ ) identificando diferencias significativas, esto, con la ayuda de un Software en lenguaje SAS versión 3.8 (SAS® OnDemand for Academics) interpretando los resultados obtenidos.



### 2.3 Resultados y discusión

Se muestran a continuación los resultados de la interacción de los sustratos, genotipos y técnicas de secado en el deshidratado del chile guajillo. En el Cuadro 6 se muestra el efecto de los sustratos probados en los que se cultivaron los genotipos de las plantas de chile guajillo con respecto a los días y al porcentaje de humedad extraída.

No se encontró diferencia estadística en las plantas cultivadas en los sustratos (S1 y S2) en relación al porcentaje de humedad extraída ni al tiempo que tardó el chile en lograr su peso constante. Fortis-Hernández *et al.* (2016) estudiaron el comportamiento de seis genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivado en dos sistemas de producción (hidroponía en invernadero y fertirriego a cielo abierto) en los que probaron mezclas de sustratos. Sin embargo, no han encontrado nada relacionado a que la mezcla de sustratos afecte directamente el tamaño, peso o el contenido de humedad de los frutos.

Por otro lado, la aplicación de biofertilizantes micorrízicos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) afecta de manera positiva el desarrollo radicular de las plantas lo que genera a su vez una mayor efectividad en la absorción de agua y nutrientes provocando un aumento en la masa fresca de los frutos (Cabrera *et al.*, 2010).

**Cuadro 6.** Efecto de los sustratos en el porcentaje de humedad extraída de los frutos de chile guajillo.

Días de secado	Sustratos	
	Mezcla 1:1 de fibra de coco y compost	Fibra de coco
0	0.11 a	0.11 a*
1	0.22 a	0.22 a
2	0.31 a	0.31 a
3	0.39 a	0.39 a
4	0.46 a	0.47 a
5	0.53 a	0.53 a
6	0.56 a	0.57 a
7	0.59 a	0.60 a
8	0.62 a	0.63 a
9	0.65 a	0.65 a
10	0.67 a	0.68 a
11	0.69 a	0.69 a
12	0.69 a	0.70 a
13	0.70 a	0.70 a
14	0.71 a	0.71 a
15	0.71 a	0.71 a

\* Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística desde el inicio hasta el final en el proceso de secado ( $p \geq 0.05$ ).

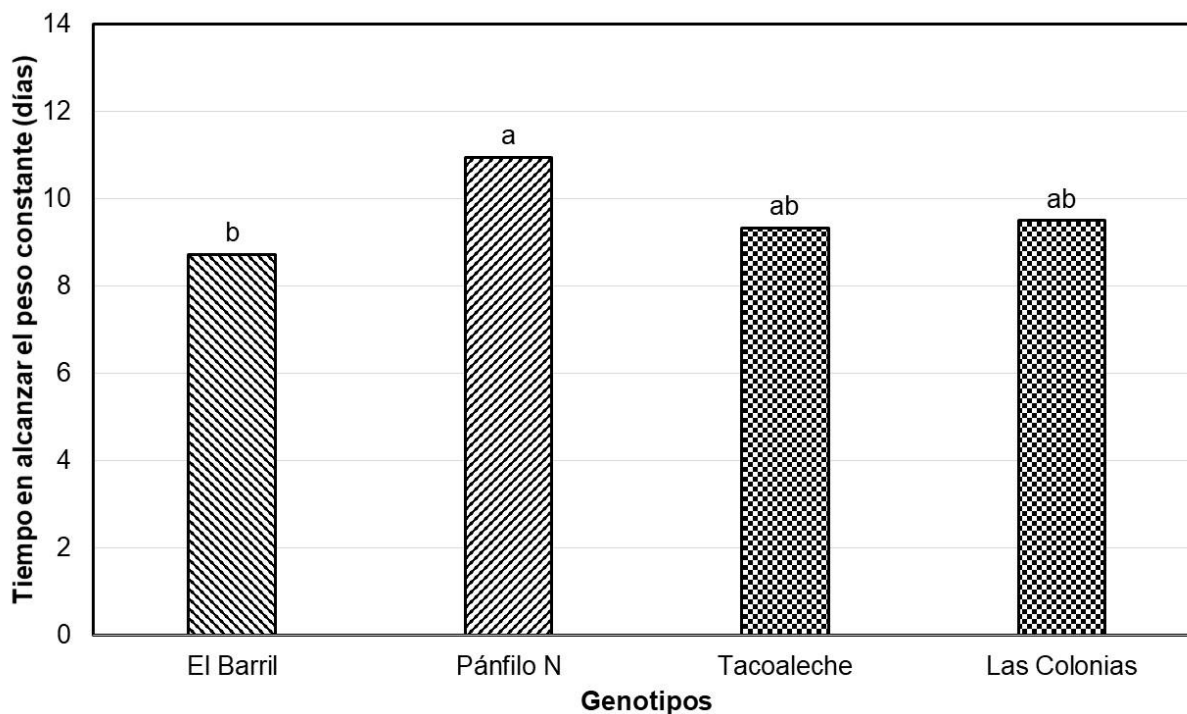
Las temperaturas promedio registradas para cada una de las técnicas de secado se muestran a continuación (Cuadro 7). Bécquer Frauberth *et al.* (2020) mencionan que la temperatura es un factor fundamental para determinar la velocidad y el tiempo en el secado, así como para conservar características deseables para el productor en el producto final.

**Cuadro 7.** Temperaturas promedio por técnica de secado.

Técnicas de secado	Temperatura promedio (°C)
Secado a la sombra	22.0
Secado solar	30.5
Secado en túnel	38.4

Los genotipos de chile guajillo mostraron diferencia en cuanto a los días que los frutos tardaron en llegar a su peso constante (Figura 6). El genotipo de Pánfilo Natera (G2) fue el que en promedio tardó más días en llegar a su peso constante, que fue dos días más en comparación al genotipo del Barril (G1) que fue el que en promedio llegó a su peso constante más rápido.

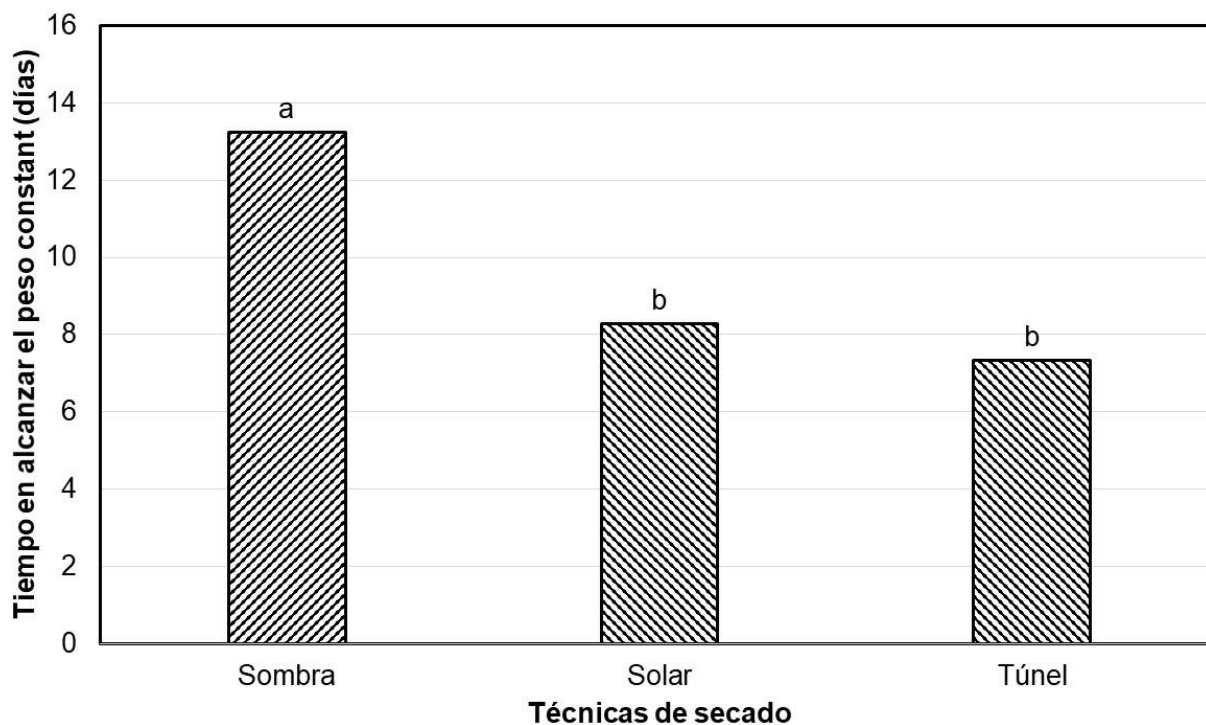
Lo anterior se debe probablemente a la variabilidad existente entre los genotipos sobre la cantidad de humedad acumulada y la materia seca final en los frutos. Mompíe *et al.* (2015) concuerdan con los resultados obtenidos al encontrar diferencias significativas en tres variedades de papa en la acumulación de materia seca de los tubérculos, dato que consideran importante para determinar su calidad, dependiendo del uso que se les vaya a dar. También, algunos autores señalan que la velocidad de deshidratación depende directamente del grosor de la muestra a secar (Limpaiboon, 2011., Yaldyz & Ertekyn, 2001). Es probable que los frutos del genotipo del Barril (G1) cuenten con una piel más delgada, y por ende su secado sea más rápido en comparación a los demás.



**Figura 6.** Efecto de los genotipos de chile guajillo en el secado desde el primer día hasta el final del proceso. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

Las técnicas de secado mostraron un efecto en el deshidratado de los frutos en relación con los días en que lograron su peso constante los frutos, siendo el secado a la sombra (T2) el que tardó más en que los chiles llegaran a dicha etapa (Figura 7). Esto puede deberse a la temperatura a la que la muestra está expuesta en cada una de las técnicas de secado.

Es decir, entre mayor sea la temperatura a la que se exponen los frutos, menor será el tiempo en lograr que la muestra llegue a un peso constante (Bécquer Frauberth *et al.*, 2020). Así mismo, aunque para las técnicas de secado al sol (T1) y secado en túnel (T3) no hubo diferencias estadísticas, se observa una tendencia en la técnica de secado en túnel a deshidratar más rápidamente los frutos. Palo-Tejada *et al.* (2020) mencionan que al aumentar la temperatura en el ambiente donde se encuentra la muestra a deshidratar ayuda a reducir de manera importante el tiempo en el que se deshidrataría a temperatura ambiente.



**Figura 7.** Efecto de las técnicas de secado en la deshidratación del chile guajillo desde el primer día hasta el final del proceso. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

El resultado de los tratamientos provenientes de la interacción de los tres factores (genotipos, sustrato y técnicas de secado) se presentan a continuación (Cuadro 8). Los frutos provenientes del genotipo Pánfilo Natera (G2) cultivados en fibra de coco (S1) y secados a la sombra (T2) y los frutos del genotipo de Pánfilo Natera (G2), cultivados en la mezcla de sustratos (S2) secado a la sombra (T2) fueron los tratamientos que en promedio tardaron más días en secarse.

Los tratamientos anteriormente mencionados tienen dos cosas en común, el genotipo y la técnica de secado. El genotipo procedente de Pánfilo Natera (G2) tarda más días en perder su humedad y alcanzar un peso constante. Es posible que el fruto que produce dicho genotipo tenga un mayor contenido de biomasa y que, por eso, requiera mayor tiempo para deshidratarse (Limpaiboon, 2011). El otro factor en común de los tratamientos con más días en lograr su secado es la técnica de secado a la sombra.

Esta técnica es una opción viable para el secado y conservación de alimentos; sin embargo, la temperatura del aire que entra en contacto con la muestra influye directamente en el tiempo que tardará la muestra en deshidratarse (Moyano Arévalo *et al.*, 2020).

Por otro lado, los tratamientos que en menos días llegaron a su peso constante fueron los frutos provenientes del genotipo del Barril (G1), cultivado en la mezcla de sustratos (S2) y secado en túnel (T3) y los frutos que provienen del genotipo de Tacoaleche (G3), cultivado en la mezcla de sustratos (S2) y secado en túnel (T3). Se determinó que la técnica de secado en túnel es la más eficiente para secar las muestras debido a que en el túnel la temperatura que entra en contacto directo con la muestra es mayor en comparación a la técnica de secado a la sombra, y debido a esto el tiempo de secado se reduce en gran manera. Además, el secado en túnel permite un producto con mayor inocuidad al evitar el contacto de la muestra con polvo, hongos, o el contacto directo con animales (López Cerino *et al.*, 2018). Por otra parte, la deshidratación de frutas tiene un efecto de concentración de metabolitos y sabor, entre otras características.

**Cuadro 8.** Interacción de los factores probados en relación con el tiempo en alcanzar el peso constante (días).

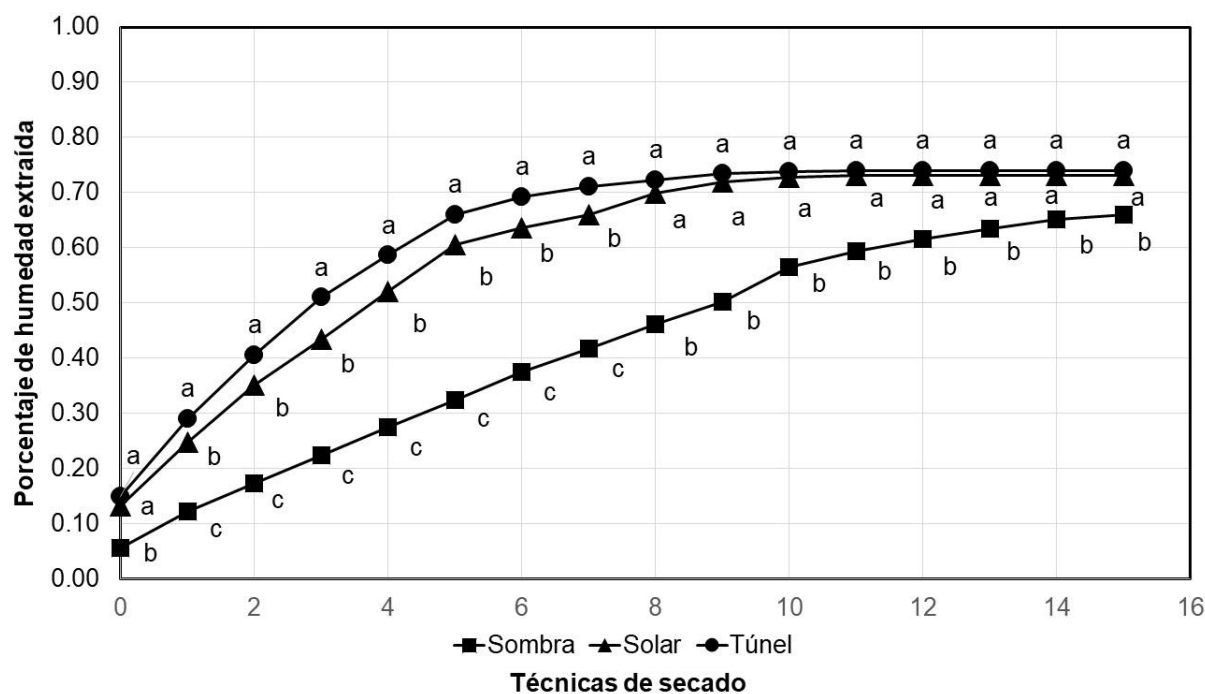
Tratamientos	Días de secado
Pánfilo N-fibra de coco-sombra	14.7 <b>a*</b>
Pánfilo N-fibra de coco y compost-sombra	14.7 <b>a</b>
Tacoaleche-fibra de coco y compost-sombra	14.0 <b>ab</b>
Colonias-fibra de coco-secado a la sombra	13.3 <b>abc</b>
Colonias-Fibra de coco y compost-sombra	12.7 <b>abcd</b>
Barril-fibra de coco-secado a la sombra	12.7 <b>abcd</b>
Tacoaleche-fibra de coco-sombra	12.0 <b>abcde</b>
Barril-fibra de coco y compost-sombra	12.0 <b>abcde</b>
Pánfilo N-fibra de coco-secado solar	10.0 <b>abcdef</b>
Pánfilo N-fibra de coco y compost-secado en túnel	9.0 <b>abcdef</b>
Pánfilo N-fibra de coco-secado en túnel	9.0 <b>abcdef</b>
Tacoaleche-fibra de coco y compost-secado solar	9.0 <b>abcdef</b>
Pánfilo N-fibra de coco y compost-secado solar	8.3 <b>bcdef</b>
Colonias-fibra de coco-secado solar	8.3 <b>bcdef</b>
Colonias-fibra de coco y compost-secado solar	8.0 <b>cdef</b>
Colonias-fibra de coco y compost-secado en túnel	8.0 <b>cdef</b>
Barril-fibra de coco-secado solar	7.7 <b>cdef</b>
Tacoaleche-fibra de coco-secado solar	7.7 <b>cdef</b>
Barril-fibra de coco y compost-secado solar	7.3 <b>def</b>
Tacoaleche-fibra de coco-secado en túnel	7.3 <b>def</b>
Colonias-fibra de coco-secado en túnel	6.7 <b>ef</b>
Barril-fibra de coco-secado en túnel	6.7 <b>ef</b>
Barril-fibra de coco y compost-secado en túnel	6.0 <b>f</b>
Tacoaleche-fibra de coco y compost-secado en túnel	6.0 <b>f</b>

\* Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

En lo que respecta al porcentaje de humedad extraída de las muestras en relación con el tiempo, se observa una diferencia en la marcha del secado de las muestras por efecto de la técnica de secado (Figura 8). El secado por túnel (T3) a partir del día uno hasta el día siete tuvo una velocidad de secado mayor a las otras técnicas, es posible que esto se deba a que las muestras al tener mayor porcentaje de agua y al estar expuestas a una mayor temperatura que a cielo abierto la velocidad de pérdida de humedad fuese proporcionalmente mayor, y a partir del día siete, cuando las muestras habían expulsado la mayoría de la humedad, la velocidad de secado disminuyó.

Iriarte *et al.* (2012) mencionan que la velocidad de secado en túnel es mayor en comparación a la de secado solar directo o a cielo abierto; sin embargo, conforme el contenido de humedad de las muestras disminuye y el proceso de secado avanza se necesita mayor energía y por tal motivo la velocidad de secado disminuye.

Por otro lado, el secado a la sombra respecto al porcentaje de humedad extraída de las muestras siempre estuvo por debajo de la media. Esto seguramente se debió a que el producto estuvo expuesto a temperaturas menores y, por ende, la humedad fue extraída de manera más proporcional. Passamai *et al.* (2006) utilizaron un sistema de secado sin radiación solar y a baja temperatura para secar jitomate en rodajas y mencionan que no encontraron diferencias en cuanto al aspecto final del producto.

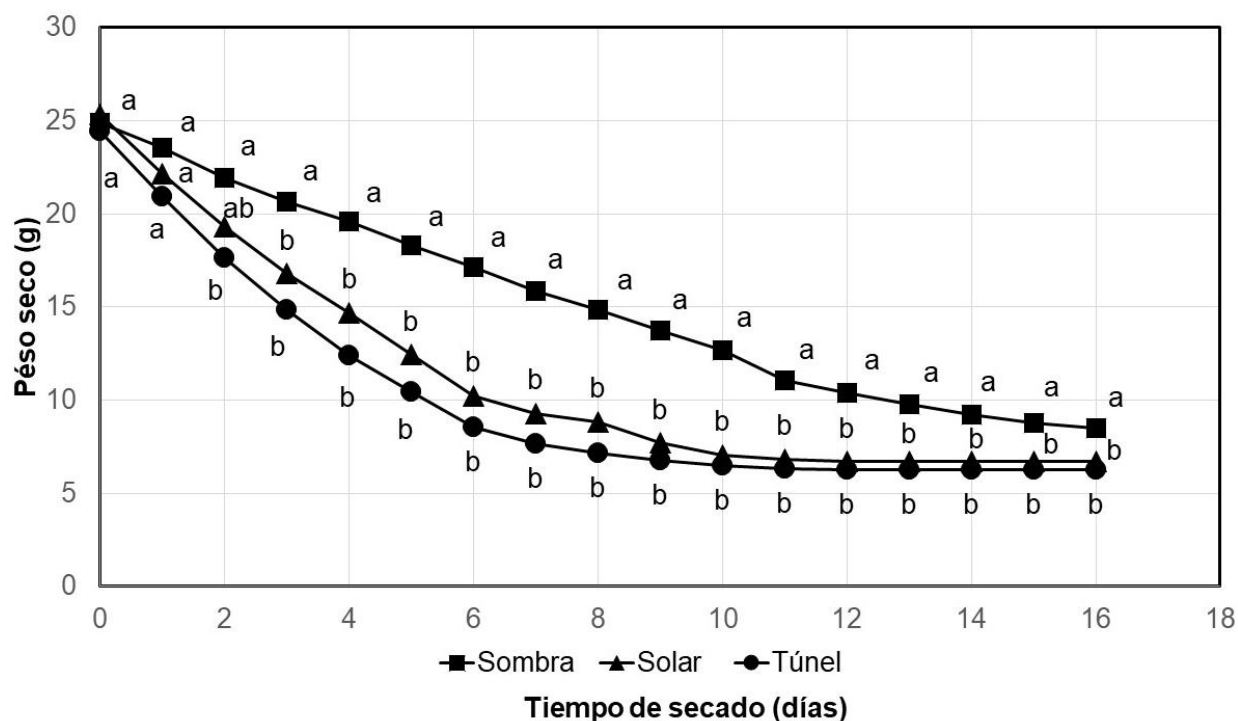


**Figura 8.** Efecto de las técnicas de secado en el porcentaje de humedad extraída desde el primer día hasta el final del ciclo. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).



Las técnicas de secado también mostraron diferencia en la pérdida de peso en relación a los días de secado (Figura 9). En la técnica de secado a la sombra (T2) los frutos perdieron peso de una forma más gradual y consistente. Esto puede estar relacionado con la temperatura ambiente a la que estuvieron expuestas las muestras. Por otro lado, las técnicas de secado solar (T1) y en túnel (T3) tuvieron una pérdida de peso mayor en los primeros días, mientras que a partir del día 8 fue menor la velocidad del secado en las muestras. Velásquez-Santos *et al.* (2019) mencionan que el mayor efecto en la pérdida de peso durante el secado es la temperatura, siendo así el factor más significativo en el peso final.

Las técnicas de secado a la sombra (T2) en las cuales se presentan temperaturas bajas permiten obtener un secado óptimo; sin embargo, el tiempo que se necesita para lograr un peso constante es mayor a otras técnicas donde las temperaturas son mayores, lo que lo convierte en una limitante para un escalonamiento industrial.

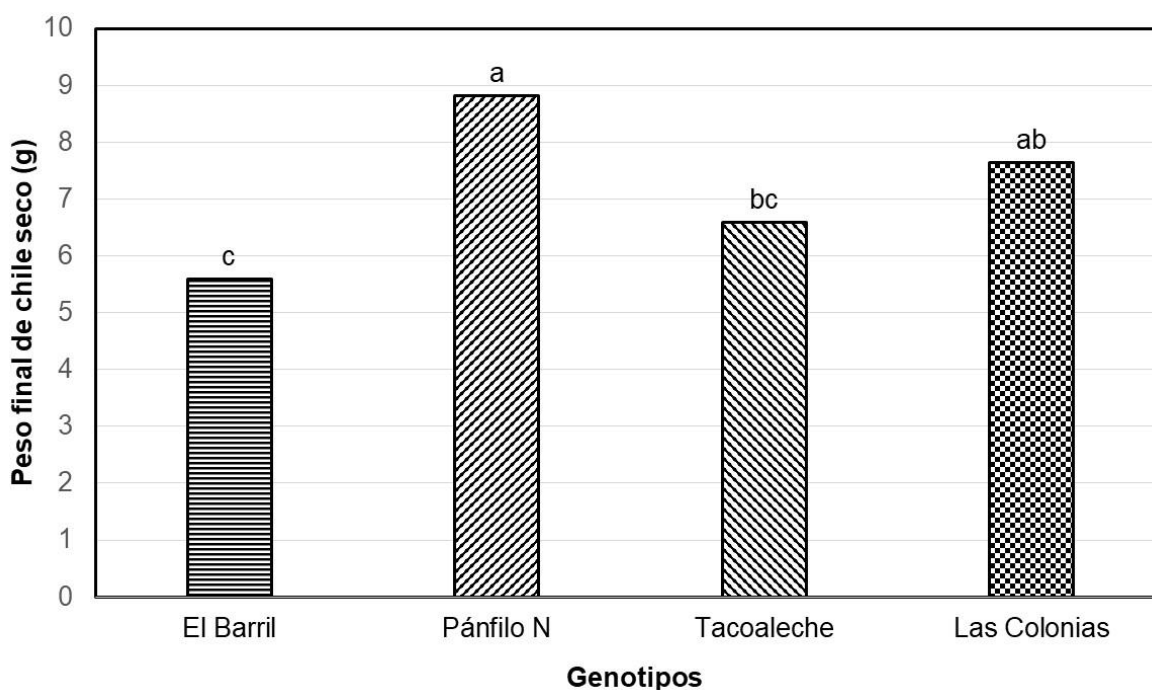


**Figura 9.** Efecto de las técnicas de secado en la pérdida de peso del chile guajillo desde el primer día hasta el final del ciclo. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

Los genotipos de chile mostraron efecto en cuanto al peso final logrado luego del secado (Figura 5). El genotipo de Pánfilo Natera (G2) produjo en promedio un mayor peso luego de que fuera sometido al deshidratado, en comparación al genotipo del Barril (G1) quien fue el que registró el menor peso.

Esto probablemente se debe a la variabilidad entre genotipos y, a que cada uno desarrolla un porcentaje de materia seca que difiere por efecto de la morfología del fruto. Mercado *et al.* (2010) probaron diferentes tipos de chile “Amashito” en la pérdida de peso en el proceso de su conserva, específicamente en el comportamiento de los frutos en postcosecha, demostrando la variabilidad existente dentro del género *Capsicum*.

La diversidad genética y morfológica del género *Capsicum* ha sido poco estudiada, sin embargo, esto es de gran importancia sobre todo en las particularidades del producto final. Esto es un aspecto importante para el productor debido a que el interés principal está en cultivar un genotipo con las mejores características postcosecha que le convengan al productor para obtener un mayor ingreso económico (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).



**Figura 10.** Efecto de los genotipos en el peso final luego del secado. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

## 2.4 Conclusiones

Los genotipos sometidos al secado mostraron diferencias en cuanto a los días que tardaron en deshidratarse. El genotipo de Pánfilo Natera (G2) fue el que tardó más días en llegar a una condición de peso constante y que registró un peso final mayor con respecto a los demás genotipos.

Las técnicas de secado reflejaron diferencia en cuanto al tiempo para alcanzar el peso constante. La técnica de secado a la sombra (T2) fue la que tardó en promedio más días en lograr un peso constante en las muestras.

La interacción de los tres factores probados (genotipos, sustratos y técnicas de secado) los tratamientos generaron diferencias en cuanto al tiempo para alcanzar el peso constante. Los frutos provenientes del genotipo del Barril (G1), cultivado en la mezcla de sustratos (S2) y secado en túnel (T3) y los frutos que provienen del genotipo de Tacoaleche (G3), cultivado en la mezcla de sustratos (S2) y secado en túnel (T3) fueron los que más rápidamente llegaron a su peso constante. Mientras que los frutos provenientes del genotipo Pánfilo Natera (G2) cultivados en fibra de coco (S1) y secados a la sombra (T1) y los frutos del genotipo de Pánfilo Natera (G2), cultivados en la mezcla de sustratos (S2) secado a la sombra (T2) fueron los tratamientos que en promedio tardaron más días en secarse.

Hubo un efecto de la técnica de secado sobre el tiempo requerido para la deshidratación de los frutos de chile guajillo. El secado en túnel (T3) generó una velocidad de secado mayor en los primeros siete días de muestreo, aunque, a partir del día siete no mostró diferencias con la técnica de secado solar directo.

Las técnicas de secado se comportaron de forma distinta en cuanto a la pérdida de peso con respecto al tiempo, siendo el secado a la sombra (T2) el que tardó más días en secar el fruto de chile. Así mismo, este tipo de secado supone un ahorro para el productor en dicho proceso; sin embargo, para una mayor exigencia en cuanto a producción y manejo es preferible adoptar otro tipo de técnicas donde la velocidad de secado sea mayor, por ejemplo, el secado bajo la cubierta de polietileno o tipo invernadero. En cuanto posterior al deshidratado, el genotipo de Pánfilo Natera (G2) obtuvo un peso final mayor.

## 2.5 Literatura Citada

- Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., Quispe Flores, M., Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., & Quispe Flores, M. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.). *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 248-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>
- Cabrera, J. A., Montero, L., Duarte, C., Cun, R., & González, P. J. (2010). Efectividad de los biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 11-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217921002>
- Campomanes, M. P., Quezada, C. S., Minchán, W. A., Rodríguez, W. K. L., & Cruzado, O. J. (2019). Parámetros de calidad de postcosecha en pimiento paprika y chile guajillo (*Capsicum annuum* L.), valle Santa, Perú. *Magister Science Journal*, 2(1), Article 1. <https://magisterpub.com/ojs/index.php/msj/article/view/49>
- CONAGUA (2011). *Comisión Nacional del Agua*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- Costales, R. (2010). Aplicación de la energía renovable en el secado. Estado del arte y su potencial en las producciones agrícolas. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 44(2), 47-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120683008>
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. 24, 72-80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77246913010>
- Fortis-Hernández, M., Beltrán-Morales, F. A., Preciado-Rangel, P., González-Zamora, A., Valdez-Cepeda, R. D., Ruiz-Espinoza, F. H., & García-Hernández, J. L. (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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358643620015>
- Galindo González, G. (2007). El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. *Convergencia*, 14(43), 137-165. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-14352007000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-14352007000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Hernández, R. A., & Frausto, G. E. (2010). Situación y perspectivas de la producción de chile seco en Zacatecas. *Revista de Geografía Agrícola*, (45), 19-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75726134002>

- Iriarte, A. A., Bistoni, S., Luque, V., García, V., Rodríguez, C., & Brizuela, L. (2012). Caracterización del secado de pimiento para pimentón en un tendalero solar activo tipo túnel. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (16), 895-899 <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/61159>
- INEGI. 2020. *Estadísticas geográficas* <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=24>
- Limpaiboon, K. (2011). Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Pumpkin Slices. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 8(2), 159-166. <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/23>
- López Cerino, I., Chávez García, E., López Cerino, I., & Chávez García, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(SPE21), 4395-4405. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1528>
- Mariconda, L., Curzel, H., Biec, M., & Moreno, C. (2014). Secado solar, valor agregado para pequeños productores de Orégano en el Alto Valle de Río Negro, Argentina. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(1), 106-114. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81331357014>
- Martínez-Damián, M. T., Cruz-Álvarez, O., Moreno-Pérez, E. del C., Valle-Guadarrama, S., Martínez-Damián, M. T., Cruz-Álvarez, O., Moreno-Pérez, E. del C., & Valle-Guadarrama, S. (2019). Intensidad de color y compuestos bioactivos en colectas de chile guajillo del norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 35-49. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.465>
- Mercado, J. N., Hernández, R. M. S., Jiménez, D. P., Ulín-Montejo, F., & Liévano, E. A. L. (2010). Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*capsicum annum* L.) variedad *glabriusculum* (dunal) Heiser & Pickersgill. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 92-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093012>
- Moreno-Pérez, E. del C., Avendaño-Arrazate, C. H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V. H., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 23-30. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Mompié, E. J., Guevara, D. M., & Martín, R. M. (2015). Comportamiento de la acumulación y distribución de masa seca en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(4), 70-76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243175009>
- Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90470303>

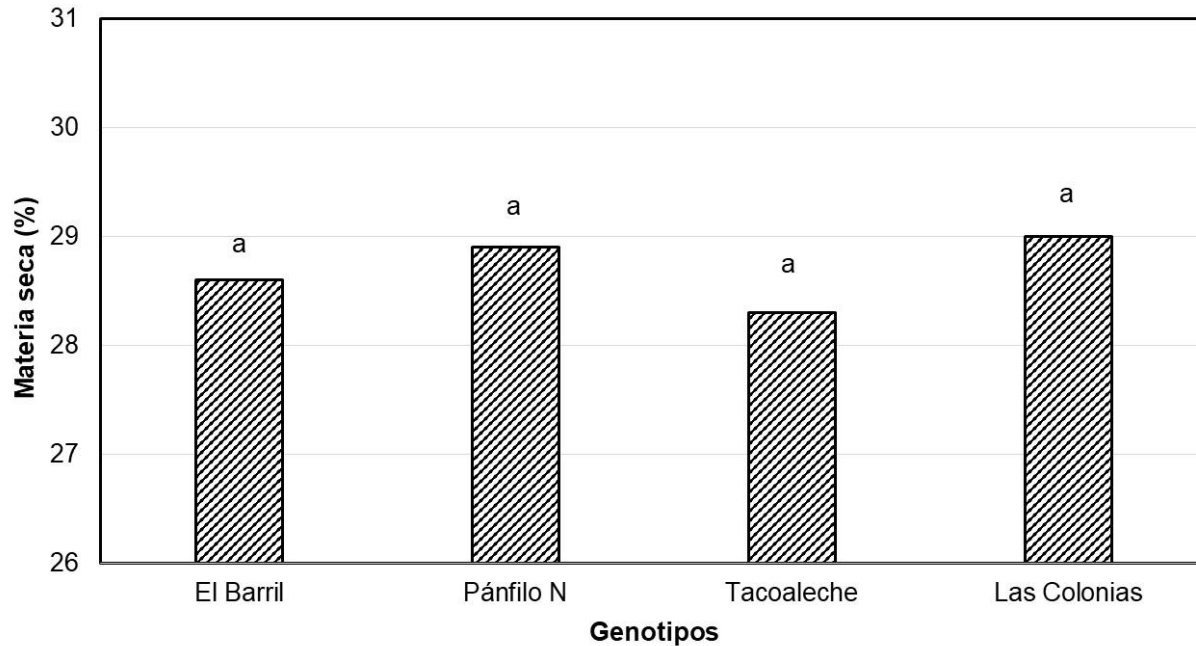
- Montejo-Sierra, I. L., Lamela-López, L., & López-Vigoa, O. (2018). Deshidratación del follaje, al sol y a la sombra, de tres plantas forrajeras proteicas. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 21-29. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0864-03942018000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942018000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Moyano Arévalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., Contreras Vásquez, L. F., Santillán Marino, C. J., Moyano Arévalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., Contreras Vásquez, L. F., & Santillán Marino, C. J. (2020). Simulación de la aplicación de un aislante térmico natural en un deshidratador solar indirecto. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 1-12. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.620.11>
- Otero-Rambla, M. A., Faife-Pérez, E., & Álvarez-Delgado, A. (2011). Impacto ambiental de la producción de agro-combustibles. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 45(2), 19-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223122259003>
- Palo-Tejada, J., Puma-Taco, A., Campos-Falcón, E., Palo-Tejada, J., Puma-Taco, A., & Campos-Falcón, E. (2020). Secado del ají panca en un secador solar fotovoltaico de tubos al vacío. *Tecnia*, 30(1), 34-38. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.853>
- Passamai, V. J., Sánchez, B., Mendoza, P., Dorado, L., Valdez, S. K., & Passamai, T. M. (2006). Experiencias de secado sin radiación solar directa y a baja temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10 9-13. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/83900>
- Rodríguez, J. H., Diez, P. Q., Pool, G. R. B., & Aguilar, J. O. A. (2017). Secado solar de frutas y verduras en Quintana Roo, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 1-8. <https://www.redalyc.org/journal/813/81351597001/>
- Quintanar Olguin, J., Roa Durán, R., Quintanar Olguin, J., & Roa Durán, R. (2017). Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 321-331. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.53>
- Velásquez-Santos, C. O., Uribe-Gómez, J. A., Velásquez-Santos, C. O., & Uribe-Gómez, J. A. (2019). Efecto de la temperatura y velocidad del aire sobre la humedad final de tomillo (*Thymus vulgaris*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 34-44. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1202>
- Yaldyz, O., & Ertekyn, C. (2001). Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables. *Drying Technology*, 19(3-4), 583-597. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>



## RELACIÓN ENTRE CAPÍTULO 1 (PRODUCCIÓN) Y CAPÍTULO 2 (SECADO)

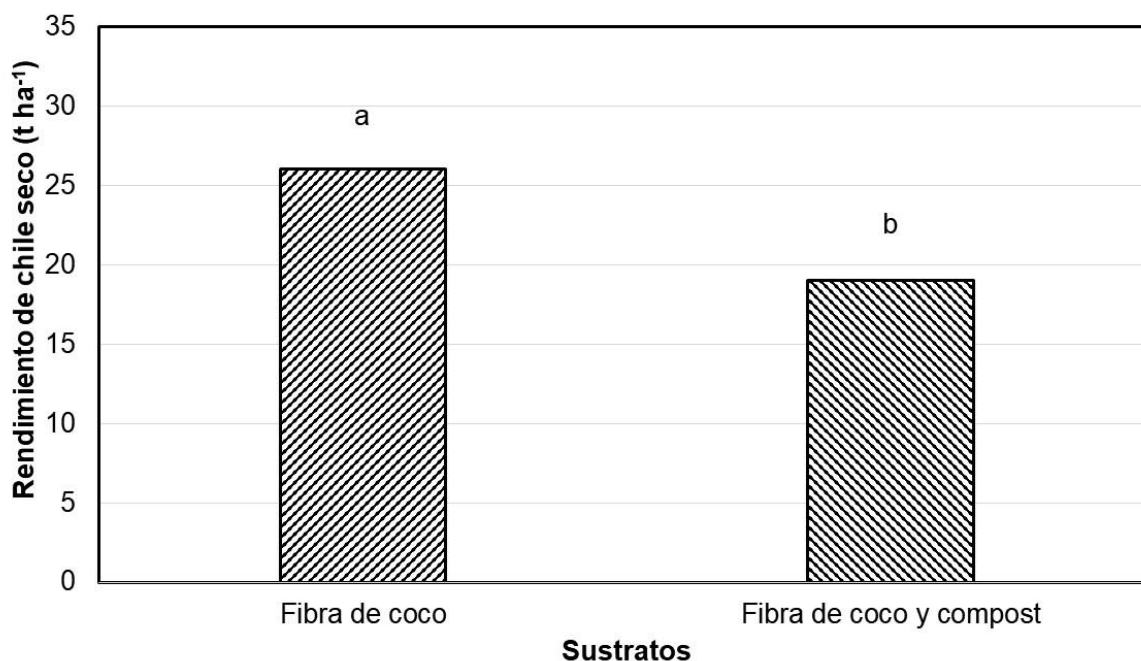
Los genotipos de chile guajillo mostraron diferencias estadísticas durante su desarrollo vegetativo y reproductivo, sin embargo, durante la etapa de secado al obtener el porcentaje de materia seca por genotipo no se encontró diferencia estadística (Figura 11). Es probable que eso se deba a que las plantas de chile guajillo de los cuatro genotipos no estuvieron expuestas a deficiencias hídricas ni nutricionales durante el ciclo productivo. Serna-Pérez *et al.* (2011) no encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento promedio del cultivo de chile seco guajillo en el cual se probaron diferentes técnicas de riego donde se aplicaban distintos volúmenes de agua. Esto debido a que en cada una de las técnicas se cubrían las necesidades hídricas de la planta; por otra parte, es posible que las diferencias genéticas no muestren un efecto en el rendimiento.

La nutrición es otro factor que juega un papel importante en el rendimiento final y por lo tanto en el porcentaje de materia seca final de los frutos. De acuerdo con Alvarez (2012), tanto una nutrición deficiente como una excesiva puede provocar un bajo rendimiento en el porcentaje de materia seca en cultivos de hortalizas, por ello es importante conocer los requerimientos nutricionales del cultivo y suministrarle lo necesario de acuerdo a su etapa fenológica.



**Figura 11.** Porcentaje de materia seca de los genotipos de chile guajillo. Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

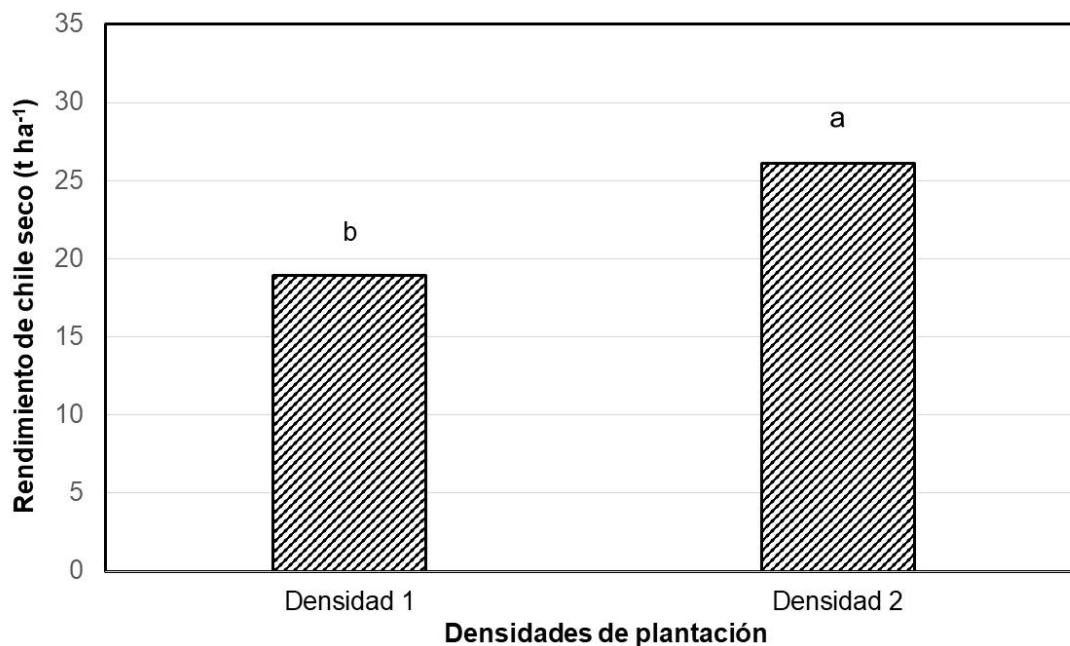
En cuanto al sustrato, las plantas cultivadas en el sustrato de fibra de coco (S1) produjeron un rendimiento promedio mayor en comparación a las que fueron cultivadas en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) (Figura 12). Galeote-Cid *et al.* (2022) probaron diferentes concentraciones de compost y microorganismos benéficos como sustratos y un testigo a base de arena y fertilización inorgánica en el cultivo de chile Huacle (*Capsicum annuum* L.), siendo el testigo el que produjera el mayor rendimiento en fresco; sin embargo, en los sustratos orgánicos se obtuvieron mayor materia seca en los frutos y un mayor rendimiento de chile en seco. Estudios han demostrado que la concentración nutricional y de componentes varían de acuerdo con las materias primas y cantidades utilizadas en la producción del compost y otros biofertilizantes orgánicos (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Por lo que es importante conocer la concentración nutricional de los sustratos y biofertilizantes a utilizar para así mismo poder complementar la nutrición del cultivo con fertilizantes inorgánicos en caso de ser necesario y utilizar un sustrato que nos proporcione características físico-químicas adecuadas a nuestro cultivo.



**Figura 12.** Efecto de los sustratos en el rendimiento total de chile seco (t ha<sup>-1</sup>). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

Las densidades de plantación de 2 plantas m<sup>-2</sup> (D1) y 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2) no solo registraron diferencia estadística en el rendimiento de fruto en fresco, si no que luego de ser sometidos al secado, las densidades de plantación provocaron un efecto en el rendimiento de los frutos en seco, siendo la densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2) la que produjera el mayor rendimiento (Figura 13). Diversos estudios muestran la importancia de manejar una buena densidad de plantación en cultivos de chile bajo condiciones de invernadero. Soto-Bravo *et al.* (2020) sometieron plantas de chile dulce a densidades de plantación de 1.4 y 2.4 plantas m<sup>-2</sup> mientras que Martínez-Gutiérrez *et al.* (2021) compararon 3 densidades de plantación (2, 3 y 4 plantas m<sup>-2</sup>) en un cultivo bajo invernadero de chile huacle y ambas investigaciones encontraron que la densidad mayor fue la que produjo el mayor rendimiento. Monge-Pérez & Monge-Pérez (2016) reportaron que las densidades de plantación de 2.6 y 3.9 plantas m<sup>-2</sup> en la producción de pimientos cuadrados son en las que obtuvieron mayores rendimientos.

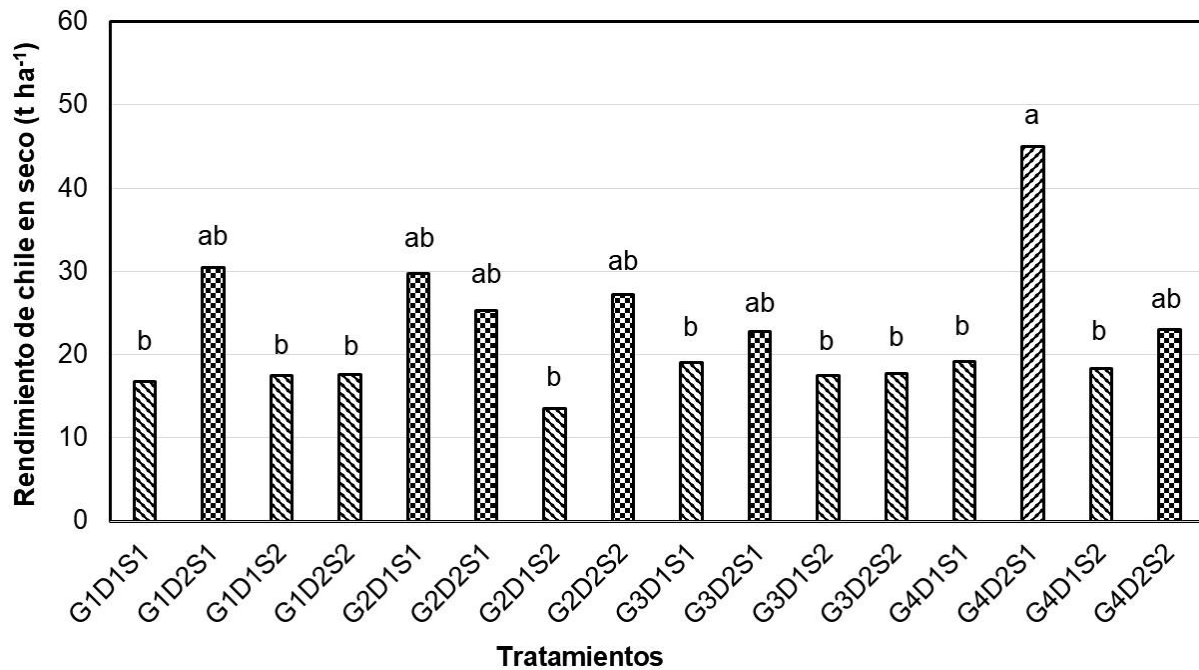
Esto demuestra que la densidad de plantación es un factor de importancia para expresar al máximo la producción de fruto del cultivo, además de que las densidades de plantación difieren entre especies del género *Capsicum* debido a la variabilidad genética existente. Es por esto que, debido al costo de inversión para este tipo de agricultura, es importante utilizar una densidad de plantación en la que se aproveche al máximo el espacio.



**Figura 13.** Efecto de las densidades de plantación en el rendimiento total de chile seco ( $t\ ha^{-1}$ ). Densidades de plantación: 2 plantas  $m^{-2}$  (D1), 3 plantas  $m^{-2}$  (D2). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ).

La triple interacción de los factores (densidad de plantación, sustratos y genotipos) muestra diferencias estadísticas en el rendimiento de chile seco (Figura 14). El tratamiento en el que se obtuvo un mayor rendimiento de chile seco fue el genotipo de Las Colonias (G4) con una densidad de plantación de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) cultivado en el sustrato de fibra de coco (S1).

Aunque en el genotipo de Pánfilo Natera (G2) se registraron los frutos más pesados en promedio, al final del secado no fue el que obtuvo el mayor rendimiento, debido a que el rendimiento en fresco del genotipo de Las Colonias (G4) superaba al rendimiento en fresco de Pánfilo Natera (G2). En cuanto a la relación de conversión de chile fresco a seco, los cuatro genotipos se comportaron de igual forma, obteniendo entre si un promedio de 3.5 kg de chile fresco para 1 kg de chile seco.



**Figura 14.** Rendimiento total de chile seco (t ha<sup>-1</sup>). Medias con la misma letra no presentan diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ). Genotipos: El Barril (G1), Pánfilo Natera (G2), Tacoaleche (G3), Las Colonias (G4). Densidades de plantación: 2 plantas m<sup>-2</sup> (D1), 3 plantas m<sup>-2</sup> (D2). Sustratos: fibra de coco (S1), mezcla 1:1 fibra de coco y compost (S2).

## CONCLUSIONES GENERALES

La interacción de genotipos, densidades de plantación y sustratos generó diferencias en cuanto al rendimiento de chile en fresco, siendo el genotipo de Las Colonias (G4), con una densidad de plantación de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) cultivado en el sustrato a base de fibra de coco (S1) el que mostró el mayor rendimiento de chile fresco y seco en comparación a los demás genotipos. Así mismo, la densidad de plantación de 3 plantas  $m^{-2}$  (D2) por si sola produjo un mayor rendimiento de chile fresco que la densidad de 2 plantas  $m^{-2}$  (D1). También, los sustratos tuvieron un efecto en variables de desarrollo vegetativo, reproductivo y de rendimiento, siendo con el sustrato de fibra de coco que las plantas presentaron un diámetro de tallo de mayor grosor, mayor número de flores, mayor número de frutos y un rendimiento de chile fresco, mayor a las plantas que fueron cultivadas en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost.

Al final del proceso de secado los genotipos mostraron diferencias en cuanto a los días que tardaron en secarse, donde el genotipo del Barril (G1) fue el que tardó menos días (8.7) en lograr un peso constante, mientras que, por otro lado, el genotipo de Pánfilo Natera tardó más días (10.9).

En la interacción entre factores genotipo, sustratos y técnicas de secado los tratamientos que tardaron menos días en secarse fueron el genotipo del Barril (G1), cultivado en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) y secado en túnel (T3), y el genotipo de Tacoaleche (G3), cultivado en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2) y secado en túnel (T3); en ambos fue de seis días. Por otra parte, los tratamientos que tardaron más días en secarse (14.7) fueron el de Pánfilo Natera (G2), cultivado en fibra de coco (S1), secado a la sombra (T2), y el genotipo de Pánfilo Natera (G2), cultivado en la mezcla 1:1 de fibra de coco y compost (S2), secado a la sombra (T2).

En el peso final, luego de pasar por el proceso de secado, se presentaron diferencias por genotipo, siendo el de Pánfilo Natera (G2) el de mayor peso final (8.82 g), mientras que el genotipo de El Barril (G1) produjo un peso final promedio menor (5.59 g) en comparación a los demás genotipos.

En cuanto a las técnicas de secado, hubo diferencia estadística, el secado solar (T1) y secado en túnel (T3) lograron llevar los frutos a su peso constante más rápido (8.9 y 7.3 días, respectivamente) en comparación con el secado a la sombra (T2) (13.25 días). Sin embargo, el secado en túnel (T3) el tiempo para lograr un peso constante fue menor en los primeros siete días de muestreo, aunque a partir del día siete no mostró diferencia estadística con la técnica de secado al sol (T1).

## Literatura

- Alvarez, F. V. B. (2012). Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas Agrarios*, 17(2), 118-29 Art. 2. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i2.699>
- Aguilar-Rincón, V., Torres, T., López, P., Latournerie, L., Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., & Castillo, J. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 144 p.
- Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez-Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.04.015>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7-24. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>
- Amador-Ramírez, M. D., Velásquez-Valle, R., Sánchez-Toledano, B. I., & Acosta-Díaz, E. (2013). Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 543-555. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342013000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., Quispe Flores, M., Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., & Quispe Flores, M. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.). *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 248-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-90282016000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90282016000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Bravo, A. N., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., González, J. A., Silvestre, J. M. O., & García-Hernández, J. L. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1203-1216. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123222011>



- Cabrera, J. A., Montero, L., Duarte, C., Cun, R., & González, P. J. (2010). Efectividad de los biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 11-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217921002>
- Campomanes, M. P., Quezada, C. S., Minchán, W. A., Rodríguez, W. K. L., & Cruzado, O. J. (2019). Parámetros de calidad de postcosecha en pimiento pprika y chile guajillo (*Capsicum annuum* L.), valle Santa, Perú. *Magister Science Journal*, 2(1), Article 1. <https://magisterpub.com/ojs/index.php/msj/article/view/49>
- Canales, J. M. V., Vera, J. H. C., Rangel, M. I. P., Ávila, J. A., & Ledesma, J. G. O. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827-840. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263138102013>
- Castellón-Martínez, ., 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. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802012000500007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- CONAGUA (2011). *Comisión Nacional del Agua*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- Costales, R. (2010). Aplicación de la energía renovable en el secado. Estado del arte y su potencial en las producciones agrícolas. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 44(2), 47-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120683008>
- Cruz-Lázaro, E. de la, Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., & Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta Y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 59-67. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15416335004>
- Encalada, M. C., Morales, C. L., & Santana, J. R. (2014). Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Revista de Economía, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán*, 31(83), 96-96. <https://doi.org/10.33937/reveco.2014.50>
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24, 72-80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77246913010>
- Flores Gutiérrez, F. X., Flores López, R., Mora Herrera, M. E., & Franco Mora, O. (2019). Productividad de dos genotipos mexicanos de papa en perlita y agregados en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1823-1835. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1936>

- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Navarro Bravo, A., Antonio-González, J., & Omaña Silvestre, J. M. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1203-1216. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342012000600011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342012000600011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Fortis-Hernández, M., Beltrán-Morales, F. A., Preciado-Rangel, P., González-Zamora, A., Valdez-Cepeda, R. D., Ruiz-Espinoza, F. H., & García-Hernández, J. L. (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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358643620015>
- Galeote-Cid, G., Cano-Ríos, P., Ramírez-Ibarra, J. A., Nava-Camberos, U., Reyes-Carrillo, J. L., Cervantes-Vázquez, M. G., Galeote-Cid, G., Cano-Ríos, P., Ramírez-Ibarra, J. A., Nava-Camberos, U., Reyes-Carrillo, J. L., & Cervantes-Vázquez, M. G. (2022). Comportamiento del chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) con aplicación de compost y Azospirillum sp. En invernadero. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.828>
- Galindo González, G. (2007). El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. *Convergencia*, 14(43), 137-165. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-14352007000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-14352007000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Garruña-Hernández, R., Estrada -Botello, M. A., Borges-Gómez, L., Gayosso-Rodríguez, S., & Villanueva-Couoh, E. (2016). Sustratos Para Producción De Flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246698007>
- Grazia, J. D., Chiesa, Á., & Tittonell, P. A. (2011). Fertilización nitrogenada en plantines de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados: Efecto sobre los parámetros de calidad del plantín. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 175-186. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837648012>
- 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*, 10(SPE22), 43-51. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1857>
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- Hernández, R. A., & Frausto, G. E. (2010). Situación y perspectivas de la producción de chile seco en Zacatecas. *Revista de Geografía Agrícola*. 45, 19-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75726134002>

- INEGI. (2020). *Estadísticas geográficas*  
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?aq=24>
- Juarez Lopez, P., Bugarin Montoya, R., Castro Brindis, R., Sanchez Monteon, A. L., Cruz Crespo, E., Juarez Rosete, C. R., Alejo Santiago, G., & Balois Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*. ISSN 2007-0713  
<http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/567>
- Limpaiboon, K. (2011). Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Pumpkin Slices. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 8(2), 159-166. <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/23>
- Lopes, M. de F. de Q., de Andrade, F. H. A., da Silva, R. T., Lima, L. K. S., Bruno, R. de L. A., & da Nogueira, A. L. S. P. (2019). Tolerancia a la salinidad de chiles (*Capsicum annuum* L.) sometidos a diferentes concentraciones de NaCl- en agua de riego. *Idesia (Arica)*, 37(3), 75-80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300075>
- López-Baltazar, J., Méndez-Matías, A., Pliego-Marín, L., Aragón-Robles, E., & Robles-Martínez, M. L. (2013). Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile «onza» (*Capsicum annuum* L.) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(SPE6), 1139-1150.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342013001000006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013001000006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- López Cerino, I., Chávez García, E., López Cerino, I., & Chávez García, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (SPE21), 4395-4405.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1528>
- López-Marín, J., Porras, I., Ros, C., & Brotons-Martínez, J. M. (2016). Study of the performance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) crop in greenhouses with the use of shading. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 112(1), 57-71. Scopus. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.004>
- Lúa, A. M., Cué, J. L. G., Velázquez, M. A. J., Botho, B. P., & Escudero, J. S. (2015). Agricultura tradicional en El Botho, Alto Mezquital, estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1215-1227.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263140688006>
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., & Can-Chulim, Á. (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. *Terra Latinoamericana*, 39.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>
- Mayek-Pérez, N., Pérez-Castañeda, L. M., Ramírez-Meraz, M., & Castañón-Nájera, G. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 117-128.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358636340009>

- Martínez-Gutiérrez, G. A., Langlé-Argüello, L. A., Urrestarazu, M., Escamirosa-Tinoco, C., Hernández-Tolentino, M., Morales, I., Martínez-Gutiérrez, G. A., Langlé-Argüello, L. A., Urrestarazu, M., Escamirosa-Tinoco, C., Hernández-Tolentino, M., & Morales, I. (2021). Efecto de la densidad de plantación y la poda en el chile huacle en invernadero. *Idesia (Arica)*, 39(3), 69-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300069>
- Monge-Pérez, J. E., & Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2), 125-136. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2696>
- Moral, A. del, & Omar, J. (2013). *Producción de chile de agua (Capsicum annuum L.) en hidroponía bajo invernadero: Una opción productiva para los espacios periurbanos*. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2202>
- Moreno-Pérez, E. del C., Avendaño-Arrazate, C. H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V. H., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 17(1), 23-30. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Moreno Reséndez, A., Rodríguez Dimas, N., Reyes Carrillo, J. L., Márquez-Quiroz, C., & Reyes González, J. (2014). Comportamiento del chile húngaro (*Capsicum annuum* L.) en mezclas de vermicompost- arena bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 97-111. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1853-86652014000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-86652014000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90470303>
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>
- Otero-Rambla, M. A., Faife-Pérez, E., & Álvarez-Delgado, A. (2011). Impacto ambiental de la producción de agro-combustibles. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 45(2), 19-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223122259003>
- Palo-Tejada, J., Puma-Taco, A., Campos-Falcón, E., Palo-Tejada, J., Puma-Taco, A., & Campos-Falcón, E. (2020). Secado del ají panca en un secador solar fotovoltaico de tubos al vacío. *Tecnia*, 30(1), 34-38. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.853>

- Passamai, V. J., Sánchez, B., Mendoza, P., Dorado, L., Valdez, S. K., & Passamai, T. M. (2006). Experiencias de secado sin radiación solar directa y a baja temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/83900>
- Quintanar Olguin, J., Roa Durán, R., Quintanar Olguin, J., & Roa Durán, R. (2017). Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 321-331. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.53>
- Rodríguez, J. H., Diez, P. Q., Pool, G. R. B., & Aguilar, J. O. A. (2017). Secado solar de frutas y verduras en Quintana Roo, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 1-8. <https://www.redalyc.org/journal/813/81351597001/>
- Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P., & Rosario-Arellano, J. L. D. (2021). Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676>
- Roldán, G. Q. (2015). Producción De Chile Dulce En Invernadero Bajo Diferentes Niveles De Agotamiento En La Humedad Del Sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 25-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43638524002>
- Sánchez-del-Castillo, F., González-Molina, L., Moreno-Pérez, E. del C., Pineda-Pineda, J., & Reyes-González, C. E. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 261-269. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-73802014000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802014000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Serna-Pérez, A., Zegbe, J. A., & Mena-Covarrubias, J. (2011). Rendimiento Y Calidad De Chile Seco «Mirasol» Cultivado Bajo Riego Parcial De La Raíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 19-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60920104003>
- SIAP (2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Chile. Cierre de la producción agrícola, 2019. *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Soto-Bravo, F., Araya-Cubero, E. A., & Echandi-Gurdian, C. (2020). 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://www.redalyc.org/journal/436/43663511003/>



- Tiessen, K. H. D., Villatoro, M., Sancho, F., Mehuys, G. R., & Lobb, D. A. (2009). Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 205-215. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43613279006>
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P. A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña, A. (2016). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de Chile poblano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1005-1015. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342016000501005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342016000501005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Valle, R. V., Díaz, E. A., Toledano, B. I. S., & Ramírez, M. D. A. (2014). Floración y fructificación de Chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) con labranza reducida, labranza convencional o incorporación de avena al suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1001-1013. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532008>
- Velásquez-Santos, C. O., Uribe-Gómez, J. A., Velásquez-Santos, C. O., & Uribe-Gómez, J. A. (2019). Efecto de la temperatura y velocidad del aire sobre la humedad final de tomillo (*Thymus vulgaris*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 34-44. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1202>
- Villa-Castorena, M. (2006). La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrientes en plantas de Chile. *Revista Terra Latinoamericana*, 24(3), 391-391. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1493>
- Yaldyz, O., & Ertekyn, C. (2001). Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables. *Drying Technology*, 19(3-4), 583-597. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>
- Zamudio-Sánchez, F. J., Espinosa-García, N., & Romo-Lozano, J. L. (2008). Índice de sustentabilidad alimentaria global: Tasa de crecimiento alimentaria contra tasa de crecimiento poblacional. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 135-140. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62914209>