

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE ENDOMICORRIZAS NATIVAS EN CHILE  
PIQUIN SILVESTRE, BAJO DIFERENTES CUBIERTAS FOTOSELECTIVAS

**Tesis**

Que presenta JOSÉ RAFAEL PAREDES JÁCOME

como requisito parcial para obtener el Grado de:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA


Saltillo, Coahuila

Mayo 2018

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE ENDOMICORRIZAS NATIVAS EN CHILE  
PIQUIN SILVESTRE, BAJO DIFERENTES CUBIERTAS FOTOSELECTIVAS

Tesis

Elaborada por JOSÉ RAFAEL PAREDES JÁCOME como requisito para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión  
y aprobación del Comité de Asesoría

  
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Asesor Principal

  
Dr. Valentin Robledo Torres  
Asesor

  
Dr. Miguel Ángel Pérez Rodríguez  
Asesor

  
Dr. Sergio Moreno Limón  
Asesor

  
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirectora de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Mayo 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A **DIOS**, quien me ha conservado con vida y salud, además de permitirme culminar con este proyecto de formación, gracias por darme la protección y guía en todo momento.

A la **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** que me abrió las puertas y me permitió seguir formándome como profesionalista.

Al **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (CONACYT)**, por su apoyo brindado en el financiamiento de mis estudios de maestría.

A los cuerpos académicos que integran la **Red (Cuerpo Académico de Botánica, UANL, Agricultura Alternativa, UAZ y Producción Hortícola Sustentable, UAAAN)** para el aprovechamiento sustentable de especies forestales no maderables en el Noreste de México. Por mi participación en el proyecto **Caracterización Ecofisiológica y Desarrollo de Sistemas Innovadores para la Producción de Chile Piquín (*Capsicum annum* var. *aviculare* sin. *glabriusculum*)**, y en especial a la **SEP** a través del **PRODEP** por aprobar el recurso para dicho proyecto.

A la **DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL**, por brindarme la oportunidad de trabajar con ella, por su tiempo, apoyo, comprensión y paciencia en todo momento, pero sobre todo su amistad y confianza.

Al **DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES**, por sus sugerencias, observaciones, apoyo y cooperación para la realización de este proyecto.

Al **DR. MIGUEL ÁNGEL PÉREZ RODRÍGUEZ**, por su apoyo y sugerencias otorgados en la realización de este trabajo.

Al **DR. SERGIO MORENO LIMÓN**, por su apoyo y participación en la realización de este proyecto.

A **Mariela Chávez García** porque a pesar de no compartir esto desde el inicio, llegaste en el mejor momento, y me has brindado tu amor y el apoyo cuando lo he necesitado.

A la **M.C. Flor Silvestre Hernández Hernández**, por su apoyo, asesoría y sugerencias para la realización de este trabajo.

Al **Ing. Juan Manuel Ramírez Cerda**, por sus sugerencias, cooperación en el trabajo de campo y compartir sus conocimientos, además de su amistad.

A la **T. A. Martina de la Cruz Casillas**, por el apoyo y confianza brindados en el trabajo de laboratorio.

A la **T. A. Laura María Durón Ochoa**, por el apoyo y amistad otorgados en la realización de este proyecto.

A mis compañeros de generación **Elsy López, Ramiro Salas y Erick A. Rodríguez**, gracias por su amistad durante esta etapa.

A mis compañeros de MCH: **Marco Villegas, Israel León, Daniela Jiménez, Uldarico Bigurra, Leonel Espinoza, Yolanda Gonzales, Abraham Romero**, gracias por su amistad y apoyo.

A mis compañeros del DAP: **Raquel Luna, Gerardo Salas, Eduardo Treviño, Rocío Peralta**, gracias por su amistad y apoyo.

## DEDICATORIAS

### A mi madre **Dulce María Jácome Domínguez**

Por haberme dado la vida, por apoyarme en todo momento y estar siempre a mi lado, por sus regaños, por sus consejos y por la motivación constante que me ha permitido ser lo que soy, una persona de bien, pero sobre todo por su amor incondicional que día a día me demuestra. Muchas gracias ma' por confiar y creer en mí, te quiero mucho.

### A mi padre **José Paredes Martínez**

Por brindarme los recursos necesarios, aunque es muy difícil estar lejos, gracias por creer en mí, por el apoyo y los consejos en todo momento, gracias pa' lo quiero mucho y siempre se lo voy a agradecer toda la vida.

### A mi hermana **Mildreth de la Paz**

Gracias por apoyarme y estar siempre conmigo en cada momento, y por sus consejos, que me impulsan para seguir adelante, muchas gracias hermana te quiero mucho.

### A mis **familiares**

Gracias a todos mis tíos y tías, primas y primos, tanto maternos como paternos que siempre han estado ahí apoyándome, dándome muchos consejos, y motivándome para seguir superándome cada día más, pero sobre todo por quererme tanto, los quiero mucho.

## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS.....                              | iii |
| DEDICATORIAS.....                                 | v   |
| RESUMEN.....                                      | ixx |
| ABSTRACT.....                                     | xii |
| INTRODUCCIÓN.....                                 | 1   |
| Objetivo general.....                             | 3   |
| Objetivos específicos.....                        | 3   |
| Hipótesis.....                                    | 3   |
| REVISIÓN DE LITERATURA.....                       | 4   |
| Antecedentes del cultivo de chile piquín.....     | 4   |
| El Chile Piquín en México.....                    | 4   |
| Distribución Geográfica.....                      | 5   |
| Importancia del Chile Piquín.....                 | 5   |
| Alimenticia.....                                  | 5   |
| Capsaicina.....                                   | 6   |
| Económico-social.....                             | 6   |
| Medicinal.....                                    | 7   |
| Contenido nutricional.....                        | 7   |
| Cubiertas fotoselectivas.....                     | 8   |
| Ventajas de las cubiertas fotoselectivas.....     | 8   |
| Radiación solar.....                              | 8   |
| Fotomorfogénesis.....                             | 9   |
| Temperatura.....                                  | 10  |
| Humedad relativa del aire.....                    | 10  |
| Microorganismos benéficos en la agricultura.....  | 10  |
| Hongos formadores de micorrizas arbusculares..... | 11  |
| Relación HMA-Hospedero.....                       | 11  |
| Ventajas de las micorrizas.....                   | 12  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                         | 14  |

|  |    |
|--|----|
| Ubicación geográfica del área experimental.....                        | 14 |
| Material vegetal .....   | 14 |
| Siembra .....  | 15 |
| Sustrato .....   | 15 |
| Desarrollo del cultivo .....   | 15 |
| Solución nutritiva y sistema de riego .....                            | 15 |
| Extracción de esporas de hongos micorrízicos arbusculares nativos..... | 16 |
| Inoculación del conglomerado .....                                     | 16 |
| Diseño experimental.....   | 16 |
| Variables evaluadas .....  | 17 |
| Análisis estadístico .....   | 19 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 20 |
| CONCLUSIONES .....   | 35 |
| REFERENCIAS .....  | 36 |
| ANEXOS.....  | 43 |
| a) Interacciones .....   | 43 |
| b) Artículo.....   | 44 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Colecta y ubicación de Ecotipos de chile piquín.....  | 14 |
| <b>Cuadro 2.</b> Descripción de factores evaluados.....  | 17 |
| <b>Cuadro 3.</b> Valores promedio de la radiación y temperatura registradas durante el segundo ciclo de producción de chile piquín bajo las diferentes cubiertas. .... | 21 |
| <b>Cuadro 4.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables agronómicas de plantas de chile piquín .....  | 21 |
| <b>Cuadro 5.</b> Valores medios obtenidos en los caracteres agronómicos en los factores evaluados en chile piquín.....   | 23 |
| <b>Cuadro 6.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables de biomasa fresca y seca en plantas de chile piquín.....                                | 24 |
| <b>Cuadro 7.</b> Valores medios en el contenido de biomasa obtenido en los factores evaluados en plantas de chile piquín .....   | 25 |
| <b>Cuadro 8.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para la variable de rendimiento y sus componentes en chile piquín .....                                    | 26 |
| <b>Cuadro 9.</b> Valores medios en rendimiento obtenido y sus componentes bajo los diferentes factores en plantas de chile piquín .....                                | 27 |
| <b>Cuadro 10.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables bioquímicas en hoja y fruto .....  | 28 |
| <b>Cuadro 11.</b> Valores medios en el contenido de compuestos bioquímicos en hoja y fruto de chile piquín.....  | 30 |
| <b>Cuadro 12.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para contenido de capsaicina y valores de pungencia en chile piquín .....                                 | 31 |
| <b>Cuadro 13.</b> Valores medios en el contenido de capsaicina y unidades escoville obtenidos en los diferentes factores evaluados en chile piquín .....               | 32 |
| <b>Cuadro 14.</b> Cuadrados medios de los factores evaluados para el contenido de esporas y colonización en plantas de chile piquín .....                              | 33 |
| <b>Cuadro 15.</b> Valores medios del número de esporas y porcentaje de colonización en raíz obtenida en los diferentes factores en plantas de chile piquín.....        | 34 |



RESUMEN

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE ENDOMICORRIZAS NATIVAS EN CHILE  
PIQUÍN SILVESTRE, BAJO DIFERENTES CUBIERTAS FOTOSELECTIVAS

POR

JOSÉ RAFAEL PAREDES JÁCOME

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL –ASESOR–

SALTILLO, COAHUILA

MAYO 2018

El uso de cubiertas fotoselectivas surgen como propuestas alternativas viables para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar. En este estudio se evaluaron seis ecotipos silvestres de chile piquín recolectados en la región Noreste de México (Coahuila, Nuevo León y Zacatecas). El experimento se desarrolló durante dos ciclos agrícolas, verano-otoño en 2016 (artículo) y verano otoño en 2017, para evaluar el efecto de las cubiertas fotoselectivas, se utilizaron malla sombra de color (negro, rojo, azul y blanca), una cubierta de polietileno (tipo invernadero), y como testigo el campo abierto, además durante el segundo ciclo se realizó la aplicación de un conglomerado con hongos micorrízicos arbusculares, obtenidos de la rizosfera de chile piquín silvestre, lo que propició una disminución de fósforo en 25 % en la solución nutritiva.

Se midieron variables microclimáticas (temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa); también variables morfológicas como altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), distancia entre nudos (DEN), número de hojas (NH) y longitud de raíz (LR), se determinó el peso fresco y seco de la parte aérea (PFP) y (PSP), así como el de peso fresco y seco de raíz (PFR) y (PSR); se determinó el rendimiento (REND) por plantas y sus componentes: número de frutos, (NFPP), diámetro de fruto (DDF) y número de semillas (NS); en variables bioquímicas se cuantificó el contenido de clorofila “a”, “b” y “Total” presente en hojas, mientras que en fruto se determinó el contenido de ácido ascórbico (Vit C), sólidos solubles totales (°Brix) y fenoles totales (FT), así como el contenido de capsaicina (CAPs) y la unidades escoville (SHU), y para comprobar la sinergia entre el conglomerado y hospedero, se contabilizó el número de esporas (NE) y el porcentaje de colonización en raíz (% COL).

El diseño experimental fue un arreglo factorial (6x6), donde el factor (a) incluye seis ecotipos inoculados y sin inóculo, y las seis cubiertas el factor (b). Se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey por el software SAS 9.1.

En los resultados se encontró que las cubiertas propiciaron condiciones favorables en los caracteres agronómicos y bioquímicos de los ecotipos, siendo

la malla blanca y azul que redujeron la radiación fotosintéticamente activa hasta un 50 %, así como disminución de la temperatura y humedad relativa. La malla de color blanco obtuvo los mayores resultados en las variables agronómicas, en rendimiento y sus componentes, en el contenido de clorofila “a”, “b” y “total”, así como en el contenido de ácido ascórbico y fenoles totales, en el contenido de sólidos solubles totales fue estadísticamente similar a los valores obtenidos en la malla roja, para el contenido de capsaicina y unidades escoville, fueron estadísticamente iguales la malla blanca y azul; la mayor colonización y número de esporas se obtuvieron en la malla blanca.

Los ecotipos presentaron diferencias significativas entre los inoculados y los que no se inocularon, el ecotipo RTZ presentó los valores mayores en los caracteres agronómicos, así como en mayor peso de biomasa fresca y seca de planta, mientras que en biomasa fresca y seca de raíz resultó ser mejor el ecotipo MZC, el rendimiento se incrementó hasta 1435.32% con el ecotipo RTZ, así como sus componentes, el contenido de clorofila “a”, “b” y “total” en hojas fue mayor en el mismo ecotipo, el contenido de ácido ascórbico fue mayor en el ecotipo SAC, los sólidos solubles totales no fueron modificados por la inoculación del conglomerado y el ecotipo MZC sin inóculo presentó el mayor resultado, y el contenido de fenoles totales mayor lo presentó el ecotipo SNL. El ecotipo PTZ exhibió 110.56% mayor contenido de capsaicina y mayor valor de unidades escoville. El número de esporas en suelo fue mayor en el ecotipo SNL, mientras que la colonización se incrementó hasta 118.15 % con el ecotipo RTZ.

De acuerdo con lo obtenido en los dos factores evaluados y sobresalir en la mayoría de las variables, la malla blanca y el ecotipo RTZ se consideran aptos para llevar a cabo la producción de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*.

**Palabras clave:** ecotipo, rendimiento, *Capsicum annuum*, capsaicina.

ABSTRACT

EFFECT OF THE INOCULATION OF NATIVE ENDOMYCORRHIZES IN WILD  
PEPPER, UNDER DIFFERENT PHOTOSELECTIVE COVERS

BY

JOSÉ RAFAEL PAREDES JÁCOME

MÁSTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE  
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL –ADVISOR–

SALTILLO, COAHUILA

MAY 2018

The use of photoselective covers arise as viable alternative proposals to improve the use of solar radiation. In this study, six wild ecotypes of piquin peppers collected in the Northeast region of Mexico (Coahuila, Nuevo León and Zacatecas) were evaluated. The experiment was developed during two agricultural cycles, summer-autumn in 2016 (ANNEXES: article) and summer autumn in 2017, to evaluate the effect of the photoselective covers, color shade mesh (black, red, blue and white) was used, a cover of polyethylene (greenhouse type), and as a control the open field, in addition during the second cycle the application of a conglomerate was made with arbuscular mycorrhizal fungi, obtained from the rizósfera of wild pepper, which caused a decrease of phosphorus in 25% in the nutrient solution.

Microclimatic variables (temperature, relative humidity and photosynthetically active radiation) were measured; morphological variables were also measured: height of plant (AP), stem diameter (DT), distance between nodes (DEN), number of leaves (NH) and root length (LR), the fresh and dry weight of the aerial part (PFP) and (PSP), as well as fresh root and dry weight (PFR) and (PSR); the yield (REND) was determined by plants and their components: number of fruits, (NFPP), diameter of fruit (DDF) and number of seeds (NS); in biochemical variables the content of chlorophyll "a", "b" and "Total" present in leaves was quantified, while in fruit the content of ascorbic acid (Vit C), total soluble solids (° Brix) and total phenols was determined (FT), as well as the content of capsaicin (CAPs) and the escoville units (SHU), and to check the synergy between the conglomerate and host, the number of spores (NE) and the colonization percentage in root (% COL).

The experimental design was in factorial arrangement, where the factor (a) was the six ecotypes inoculated and without inoculum, while the factor (b) was the six covers. The analysis of variance and comparison of means of results analyzed are SAS 9.1 software.

In the results it was found that the covers propitiated favorable conditions in the agronomic and biochemical characters of the ecotypes, being the white and blue mesh that reduced the photosynthetically active radiation up to 50%, as well as

decrease of the temperature and relative humidity. The white mesh was the one that obtained the highest results in the agronomic variables, in yield and its components, in the content of chlorophyll "a", "b" and "total", as well as in the content of ascorbic acid and total phenols, in the content of total soluble solids was statistically similar to the values obtained in the red mesh, in the content of capsaicin and escoville units, the white and blue mesh were statistically equal; the highest colonization and number of spores were obtained in the white mesh. The ecotypes showed significant differences between those inoculated and those that were not inoculated, the ecotype RTZ presented the highest values in the agronomic characters, as well as in greater weight of fresh and dry biomass of plant, while in fresh and dry biomass of root it was found better the ecotype MZC, the yield was increased up to 1435.32% with the ecotype RTZ, as well as its components, the content of chlorophyll "a", "b" and "total" in leaves was higher in the same ecotype, the content of ascorbic acid was higher in the SAC ecotype, the total soluble solids were not modified by inoculation of the conglomerate and the MZC ecotype without inoculum showed the highest result, and the highest total phenolic content was presented by the SNL ecotype. The PTZ ecotype presented the highest capsaicin content and therefore the highest value of escoville units. The number of spores in soil was higher in the SNL ecotype, while colonization increased to 118.15% with the RTZ ecotype. In agreement with the obtained in the two evaluated factors and to excel in the majority of the variables, the white mesh and the ecotype RTZ are considered apt to carry out the production of *Capsicum annum* var. *Glabriusculum*.

**Key words:** ecotype, yield, *Capsicum annum*, capsaicin

## INTRODUCCIÓN

El chile piquín *Capsicum annum*, se distribuye al sur de los Estados Unidos, México, América Central, Colombia y hasta las regiones bajas del Perú. En México se encuentra ampliamente distribuido en la zona costera del país, por el Pacífico de Sonora a Chiapas y por el Atlántico de Tamaulipas a Yucatán y Quintana Roo. (Murillo *et al.*, 2015).

El chile piquín es una de las especies silvestres de gran importancia desde el punto de vista económico y alimenticio, su preferencia es debida a su agradable sabor y picor comparado con el de otros chiles como serrano y jalapeño (Villalón *et al.*, 2014). Sin embargo, las poblaciones naturales de chile piquín han ido en disminución, provocado por un manejo inadecuado de los recursos naturales y de la influencia antropogénica, (Rueda *et al.*, 2010). Asimismo, la germinación de las semillas de esta especie es una limitante para las siembras intensivas comerciales (Araiza *et al.*, 2011).

Dentro del medio rural el chile piquín es considerado un recurso económico valioso, el precio de venta llega a ser hasta una 40 % mayor en comparación con otros chiles, lo cual forma parte importante de la economía de las comunidades que lo recolectan. Por consiguiente, es importante la evaluación del potencial de estas especies y proponer un modelo de producción, manejo y conservación este recurso genético con un enfoque de sustentabilidad (Medina *et al.*, 2014).

Dentro de las tecnologías para su producción el impacto del sombreado, es aspecto fundamental para simular su hábitat natural y así propiciar el desarrollo normal de la planta; en comparación con el cultivo a cielo abierto, el uso de la malla-sombra podrá incrementar el rendimiento de chile, la calidad del fruto es superior cuando existe uniformidad, tamaño y color (Ayala *et al.*, 2011). La calidad de la radiación, o la distribución del espectro de luz, puede influir en la longitud del entrenudo, en la iniciación y desarrollo de la floración. (Runkle *et al.*, 2006).

Así mismo la producción hortícola, durante los últimos años se ha visto afectada por el uso desmedido de agroquímicos provocando desequilibrio y desbalance en el sistema suelo-planta, por carencia de las actividades microbianas y del potencial productivo de los cultivos (Fernández, 2009). Dentro de las alternativas sostenibles para la producción agrícola sin dañar el medio ambiente es el uso de biofertilizantes, como los hongos micorrízicos arbusculares. (Smith *et al.*, 2011).

Más del 80% de las especies de plantas vasculares establecen asociación simbiótica mutualista con los hongos micorrízicos arbusculares, (Peterson *et al.*, 2004), los cuales son microorganismos del suelo que interaccionan con las raíces de las plantas, y que contribuyen de manera sustancial en la nutrición de sus hospederos (Smith *et al.*, 2010). Asimismo, esta asociación les confiere a las plantas una mayor protección y tolerancia a patógenos (Oztekin *et al.*, 2013).

A pesar de los grandes beneficios que presenta esta asociación simbiótica, no todas las combinaciones planta-hongo son compatibles, algunos hongos micorrízicos llegan a ser más benéficos para un hospedero y su adaptación está determinada por factores edafoclimáticos, presentando diferencias estructurales y funcionales entre especies e incluso morfotipos en las mismas especies de hongos (Castillo *et al.*, 2009). Por lo que es importante la selección de microorganismos nativos de la región, ya que aumentan las posibilidades de establecimiento y multiplicación de estos (Armenta *et al.*, 2010).

La combinación de los parámetros de crecimiento de la planta, peso aéreo y de raíces, así como colonización micorrízica, promueve la identificación de manera rápida de microorganismos potenciales para ser introducidos al medio agrícola (Covacevich *et al.*, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los caracteres agronómicos y bioquímicos en seis ecotipos de chile piquín silvestre, bajo diferentes cubiertas selectivas además de la inoculación de un conglomerado nativo de HMA nativos.



### **Objetivo general**

Evaluar la respuesta morfológica y bioquímica de seis ecotipos de chile piquín (*Capsicum annuum*) con la inoculación de endomicorrizas nativas, bajo diferentes cubiertas fotoselectivas.

### **Objetivos específicos**

- Determinar cuál ecotipo se adapta mejor a las condiciones de producción.
- Determinar la cubierta que favorece la producción.
- Evaluar el conglomerado de endomicorriza que mejora la morfología y calidad de los ecotipos de chile piquín.
- Evaluar la interacción de los ecotipos inoculados y las cubiertas.

### **Hipótesis**

La inoculación de endomicorrizas mejorará las características morfológicas y bioquímicas de plantas de chile piquín, así como el rendimiento, y dicho efecto se incrementará con al menos una de las cubiertas.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Antecedentes del cultivo de chile piquín**

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las solanáceas (Mozsik *et al.*, 2009). Según el tamaño de la planta, el color, tamaño y forma de los frutos, en este género se han clasificado 25 especies, dentro de las cuales se encuentran *Capsicum annuum*, *chínense*, *frutescens*, *baccatum* y *pubescens* (Hornero-Méndez *et al.*, 2000).

Entre el año 1493 y 1495 los españoles llevaron los frutos de este género a su país, empleándolo como una especia alternativa a las que comúnmente utilizaban los europeos. A finales del XVI y principios del siglo XVII, el cultivo de plantas del género *Capsicum* se había extendido a regiones mediterráneas de Europa Central en tiempos relativamente cortos. Gracias a que los españoles extendieron su influencia en los continentes asiático y africano, el género *Capsicum* se estableció en muchas partes tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Govindarajan, 1985; Mozsik *et al.*, 2009).

El chile (*Capsicum* spp.) es uno de los cultivos más importantes en México y en el mundo. Su utilización se remonta a los tiempos precolombinos, en donde su utilización primordial era como condimento, pero también los diferentes tipos de chiles jugaron un papel importante como fuente de vitamina C en las diferentes culturas americanas (Eshbaugh, 1970). El chile es considerado una de las primeras plantas cultivadas de Mesoamérica y la continuidad de su uso se confirma desde 7000 y 5000 años A.C (Long-Solis, 1986).

### **El Chile Piquín en México**

En México existen más de 40 variedades de chiles. La diversidad y la riqueza de los platillos preparados con este producto son impresionantes. Desde los típicos y tradicionales moles de Puebla, Oaxaca y Yucatán, por hablar sólo de los más conocidos, hasta las refinadas salsas y adobos del estado de México, Jalisco o

San Luís Potosí; la variedad de gustos, sabores e ingredientes que en las cocinas del país se emplean en conjunción con los diferentes chiles, ha permitido el desarrollo de una gastronomía característica, exótica e incitante, de un gusto peculiar y sugerente, que no obstante las transformaciones e influencias extranjeras, conserva una tónica particular, debida, justamente, a la variedad de formas y maneras en que en nuestro país se consume el chile (López y Castro, 2006). A pesar de que el chile silvestre recibe muchas denominaciones locales o regionales (chiltepín, chilpaya, chile parado, chile de monte, pico de pájaro, pico de paloma, etc.), éste es conocido popularmente como piquín, lo que lo distingue de los chiles cultivados. Hay una gran variabilidad de formas de frutos, que pueden ser redondos, ovalados, cónicos y alargados, pero todos son pequeños, de diferentes tonos de verde en estado inmaduro, pero de color rojo intenso y brillante al madurar, crecen en posición vertical y son de pedúnculo alargado (Pozo y Ramírez, 2003).

### **Distribución Geográfica**

Se encuentra ampliamente distribuido en forma silvestre en zonas bajas, desde el sur de los E.U.A. hasta Perú. En México, tiene una amplia adaptación en el trópico y zonas semiáridas en los estados de: Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo y Tamaulipas. (Nee, 1986). Normalmente se le encuentra después de las épocas de lluvias bajo el matorral submontano, aunque también está presente en zonas más elevadas de encinos y bosques caducifolios (Medina *et al.*, 2002, Rodríguez *et al.*, 2003).

### **Importancia del Chile Piquín**

#### **Alimenticia**

Del chile piquín se utiliza principalmente el fruto, pero es común que la planta se utilice en primera instancia como ornato y posteriormente como proveedora de frutos, prueba de ello es que cada vez es más común ver plantas de chile piquín

en macetas de los hogares de las zonas urbanas. El fruto de chile piquín se utiliza principalmente en dos formas: verde o seco (rojo deshidratado), en verde se consume directamente el fruto, o bien en salsas, también se puede conservar en salmueras, escabeche, mientras que seco, se consume también directamente el fruto entero o molido y en salsas. En el noreste de México, el chile piquín, tiene preferencia similar al chile jalapeño, por encima de otros chiles, como los serranos, de árbol, chilacas, etc. (Rodríguez-del Bosque *et al.*, 2003). Los chiles son una buena fuente dietética de antioxidantes como flavonoides, compuestos fenólicos, carotenoides, ácido ascórbico, vitamina A, y los propios capsaicinoides (Howard *et al.*, 2000).

### **Capsaicina**

La capsaicina es un alcaloide característico y único del género *Capsicum* (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991), el cual le confiere el grado de picor al chile. Esta sensación organoléptica se debe a compuestos capsaicinoides derivados del metabolismo secundario del grupo de los alcaloides; formados por amidas ácidas de la vanillilamina y ácidos grasos de cadena ramificada de 9 a 11 carbonos a partir de la fenilalanina y la valina (Zewdie y Bosland, 2000). Se conocen 22 compuestos análogos diferentes (Bosland y Votava, 2000), de los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen más de 90% del total presente en los frutos (Suzuki *et al.*, 1981).

### **Económico-social**

No existen evidencias de la producción agronómica de esta especie, por lo tanto, se supone que la demanda se satisface mediante la colecta de plantas silvestres, la cual representa un ingreso importante para las familias durante la época que dura la cosecha (Medina *et al.*, 2002, Rodríguez-del Bosque 2005, Pedraza *et al.*, 2008, Bañuelos *et al.*, 2008). Por ejemplo, en el noreste de México (Nuevo León y Tamaulipas), la colecta de chile silvestre se realiza principalmente de septiembre a noviembre, esto representa de un 25 a 45% del ingreso total para los colectores y en algunos años en primavera 15 a 20% (Villalón *et al.*, 2007).

De la colecta, se comercializa el 97% en verde y el resto en seco, este último con producto colectado al finalizar la temporada.

### **Medicinal**

El chile piquín es considerado en algunas comunidades especialmente indígenas y mestizas como una especie saludable. En la actualidad esta concepción se sigue manteniendo, es muy usual escuchar frases como: “el chile piquín, es el único chile que no hace daño; el piquín de monte no te hace daño como los otros chiles, al contrario, te alivia, pues es de monte”. Históricamente los pueblos nativos americanos usaron el chile para tratar afecciones como el asma, la tos y el dolor de garganta, o como analgésico para aliviar los dolores de muelas (Dasgupta y Fowler, 1997). En algunas comunidades de Sonora los frutos son utilizados para curar padecimientos como: dolor de oído, dolor de muela, reumas, calentura, gripa, tos, debilidad, gastritis, úlcera, contra los parásitos, hemorroides, “cruda de borracho” (Bañuelos *et al.*, 2008).

### **Contenido nutricional**

Además de sus características sensoriales de color, sabor pungente y aroma, el chile juega un papel importante en la salud humana debido a que contienen altas concentraciones de numerosos compuestos bioactivos y antioxidantes dietarios (Ghasemnezhad *et al.*, 2011; Ornelas-Paz *et al.*, 2010). El interés por esa hortaliza se ha incrementado debido a que el fruto del chile es una excelente fuente de vitaminas A y C, compuestos fenólicos, clorofilas, tocoferoles, capsaicinoides y carotenoides, entre otros (Russo and Howard, 2002; Yahia and Ornelas-Paz, 2010; Ornelas-Paz *et al.*, 2010). La ingesta de chile, el cual contiene estos compuestos, es un importante factor de protección en la salud, ya que se sabe que son benéficos en la prevención de muchas enfermedades crónicas, algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, aterosclerosis, etc. (Navarro *et al.*, 2006).

### **Cubiertas fotoselectivas**

Las cubiertas que propician sombra generalmente están hechas de hilos de plástico (polietileno de alta densidad o polipropileno) conectados entre sí, en un patrón tejido o de punto que forma una estructura geométrica porosa regular y permite el paso de fluidos (Castellano *et al.*, 2008). Las redes sombreadas son comúnmente negras o pueden ser de otros colores (Elad *et al.*, 2007; Fallik, 2009; Stamps, 2009). Las redes de sombra de colores afectan los atributos fisiológicos, morfológicos y de calidad de las frutas y verduras (Sellos, 2009). Las redes de sombra aluminizadas son más efectivas para reducir la temperatura dentro de los túneles altos en comparación con las redes de sombra negras (Callejón-Ferre *et al.*, 2009).

### **Ventajas de las cubiertas fotoselectivas**

Las redes de sombra disminuyen la temperatura al reducir la penetración de la luz dentro del túnel y pueden colocarse tanto en el interior como en el exterior de los túneles altos. Además de reducir la temperatura y la radiación solar, las redes de sombra protegen a los cultivos de los insectos, el viento, el granizo y las aves (Arthurs *et al.*, 2013; Castellano *et al.*, 2008). Reducen las necesidades de agua y aumentan la eficiencia del uso del agua de riego en el pimiento (Moller y Assouline, 2007). Las redes de sombra se usan comúnmente para modificar el microambiente de cultivos con el objetivo de mejorar la producción de cultivos (Castellano *et al.*, 2008).

### **Radiación solar**

La energía solar es el factor ambiental que ejerce una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, al afectar entre otros procesos biológicos la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR por sus siglas en inglés) y absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la germinación de las semillas, elongación del tallo, expansión

foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros productos secundarios, en respuesta a la incidencia de flujo fotónico con longitudes de onda de 400-500 nm (luz azul), 600-700 nm (luz roja) y 700-800 nm (luz roja lejana), percibidas por fotorreceptores biológicos (fitocromo y otros) presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Ayala, 2012). Así las mallas pueden ser utilizadas con el propósito de control vegetativo en lugar de los reguladores de crecimiento (Scarascia *et al.*, 2011).

### **Fotomorfogénesis**

La luz actúa como una señal de las condiciones ambientales que rodean la planta. Estos son los fotorreceptores que funcionan como transductores de las señales lumínicas para proporcionar información que controla las respuestas fisiológicas y morfogénicas. Los sistemas de pigmentos que contienen las plantas como la clorofila, capturan la energía lumínica en diferentes regiones del espectro electromagnético (400 a 700 nm) proporcionando energía para la fotosíntesis. La planta necesita la cantidad, calidad y duración de la luz para poderse adaptar y aprovechar la luz. Los fotorreceptores son un conjunto de pigmentos capaces de absorber ciertas longitudes de ondas específicas. Además de los pigmentos fotosintéticos, en las plantas se han identificado tres grupos según la longitud de onda absorbida: Fitocromos, receptores de luz roja (600 – 700 nm) y de luz roja lejana (700 a 800 nm), criptocromo, receptores de luz azul (400 a 500 nm) y de luz ultravioleta A (320 -400 nm), fotorreceptores de luz ultravioleta B (280 -320 nm) que son los más importantes en los procesos morfogenéticos son los que absorben la luz roja y azul.

A través de estos pigmentos, las plantas tienen la capacidad de percibir cambios sutiles en la composición de la luz para iniciar los cambios. Esta capacidad de la luz para controlar la morfología de la planta es independiente de la fotosíntesis y es conocida como morfogénesis. Los fitocromos, fotorreceptores de las plantas, tienen su máxima sensibilidad en las regiones del rojo (R) y rojo lejano (RL) del espectro. Baja R: RL causa una reducción en la proporción de fitocromos que

están en la forma activa y esta reducción estimula la elongación del tallo, alta relación R: RL favorece la fotosíntesis y por tanto, mayor producción de azúcares y materia seca, estimulando el crecimiento.

### **Temperatura**

Las mallas se han utilizado sobre los cultivos para reducir el estrés por calor (Elad *et al.*, 2007; Retamales *et al.*, 2008). La temperatura ejerce una gran influencia sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas y no hay tejido o proceso fisiológico que no esté influido por ella. El desarrollo y el crecimiento de la mayoría de los cultivos agrícolas ocurren dentro de un rango de temperaturas óptimas, que oscila entre 1 y 35°C. (Ayala, 2012). La luz actúa sobre la acumulación de carbono, la temperatura de las hojas y en el balance hídrico, y en el crecimiento de órganos y tejidos, principalmente en el desarrollo de tallos, expansión de hojas y en la curvatura de los tallos, interviene también en la germinación de semillas y en la floración. La luz y la temperatura están directamente correlacionadas (Caldari, 2007).

### **Humedad relativa del aire**

La Humedad relativa del aire es a menudo más alta en interior que en el exterior como un resultado de vapor de agua transpirado (Elad *et al.*, 2007).

### **Microorganismos benéficos en la agricultura**

En los últimos años, los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ( $\leq 50\%$ ) para ser asimilados por los cultivos, el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos con NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global. Una alternativa para frenar tal adversidad es mediante el uso de biofertilizantes, preparados con microorganismos aplicados al suelo y/o planta, con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Armenta *et al.*, 2010). Ejemplo de ellos con los hongos micorrízicos arbusculares, que son una opción viable y sostenible para la producción agrícola (Smith *et al.*, 2011).



### **Hongos formadores de micorrizas arbusculares**

La asociación mutualista entre los hongos y las raíces de las plantas conocida como micorriza es encontrado en todos los ecosistemas terrestres, y fue primero descrito por el patólogo forestal Alemán Frank en 1987 como “mykorrhiza”, el cual literalmente significa “hongo-raíz” (Read, 1987). Los hongos micorrícicos invaden las raíces de las plantas para proveerles de los nutrientes que necesitan como N y P contenido dentro de la materia orgánica para sostener el crecimiento, mientras que de ellas reciben sustancias elaboradas por las plantas (Franson, 2001). Además, los HMA protegen a la planta contra la acción de algunos fitopatógenos del suelo (Espinoza-Victoria *et al.*, 2004).

### **Relación HMA-Hospedero**

De manera natural las plantas responden de manera defensiva frente a la posible invasión de microorganismos para impedir o dificultar la entrada de estos en sus células, sin embargo, aunque en la asociación con HMA, las plantas generan respuestas de defensa, éstas son débiles, localizadas en células específicas y no impiden la colonización del hongo (García-Garrido y Ocampo, 2002). Lo anterior puede estar asociado a mecanismos de regulación de las respuestas de las plantas o debido a la baja capacidad del hongo de inducir respuestas de la planta (García- Garrido y Ocampo, 2002).

Con el reconocimiento del HMA se activa el sistema de defensa de la planta mediante señales específicas, elicitores, que pueden ser producidos por el microorganismo (exógenos) o por la planta (endógenos). Una vez percibido el elicitador ocurre una serie de cambios bioquímicos que permiten una rápida respuesta de la célula del hospedero y llevan a la activación de genes relacionados con la respuesta de defensa de la planta (Somssich & Hahlbrock, 1998). La compatibilidad de las plantas con los HMA depende de señales específicas bioquímicas y genéticas, en todas las fases de desarrollo de la simbiosis, que permiten el reconocimiento, la colonización y el intercambio de

nutrientes (Kogel, 2008). La simbiosis HMA-planta requiere de un reconocimiento y una armonización de procesos en el espacio y en el tiempo bastante complejos, que lleven al establecimiento de la simbiosis (Requena *et al.*, 2007).

### **Ventajas de las micorrizas**

Los hongos micorrizogenos arbusculares, son de gran importancia debido a que mediante la simbiosis las plantas pueden obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estreses bióticos y abióticos, reducir competencia entre plantas mediante la transferencia de carbono a través de la red de hifas extraradical (Simard y Durall, 2004). Los beneficios de la simbiosis en el hospedero se observan en supervivencia, productividad (cantidad y calidad) (Goverde *et al.*, 2000), morfología de planta y capacidad reproductiva. Diferencias en crecimiento micelial y estrategias de toma de fósforo observadas entre especies de HMA pueden jugar un papel importante (Smith *et al.*, 2000), y podría incluso significar que una amplia diversidad de HMA, puede estar relacionada con un incremento en la eficiencia de extracción de nutrientes y por lo tanto en los beneficios al hospedero (Kernaghan, 2005) y explicaría la presencia de diversos HMA en suelos y en raíces.

La fisiología de la planta micorrizada cambia completamente cuando se asocia al hongo. Mediante el micelio externo, el contacto entre las raíces y el medio se incrementa considerablemente. La inoculación con hongos formadores de micorrizas es conocida por incrementar el crecimiento de muchas especies de plantas. Es atribuido un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; producción de sustancias promotoras de crecimientos, tolerancia a estrés hídricos; salinidad, estrés por trasplante; resistencia a plantas por fitopatógenos e interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos del suelo (Boby, *et al.*; 2008). Las plantas micorrizadas crecen mejor que las no micorrizadas en suelos infértiles, por producir un incremento en la nutrición mineral a través de las hifas, quienes ayudan a explorar un mayor volumen de suelo que los pelos radiculares de las

mismas plantas (Rajan *et al.*, 2000). El incremento en la nutrición mineral aumenta los contenidos de clorofilas y como consecuencia una alta tasa fotosintética (Feng *et al.*, 2002). Los HMA interactúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces, en la rizosfera y en la masa del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica del área experimental

El presente trabajo de investigación se realizó durante dos ciclos agrícolas primavera-verano 2016 (artículo) y primavera-verano 2017, en los terrenos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; ubicada a 25° 22' latitud norte y 101° 22' longitud oeste, con una altura de 1580 msnm.

### Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile piquín silvestre provenientes de la región Noreste de México (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Colecta y ubicación de Ecotipos de chile piquín

| Abre* | Localidad, estado:               | Altitud<br>(msnm) | Coordenadas de<br>recolección         |
|-------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| SAC   | San Alberto, Coahuila            | 365               | 27° 42' 83.1" LN<br>101° 38' 16.1" LO |
| MZC   | Muzquiz, Coahuila                | 499               | 28° 00' 02.9" LN<br>101° 44' 45.8" LO |
| LNL   | Linares, Nuevo León              | 356               | 24° 50' 14.5" LN<br>99° 35' 21.8" LO  |
| SNL   | Santiago, Nuevo León             | 480               | 25° 23' 53.7" LN<br>100° 06' 22.8" LO |
| PTZ   | Puente Tepetatilla,<br>Zacatecas | 1888              | 22° 47' 14.1" LN<br>103° 35' 11.4" LO |
| RTZ   | Rio Tuxpan, Zacatecas            | 2060              | 22° 39' 10.5" LN<br>102° 42' 16.2" LO |

\*Abre: abreviatura.

### **Siembra**

Las semillas se sembraron el día 8 de abril de 2016, se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, tratadas previamente 24 horas con 500 ppm de ácido giberélico (Biogib ®), con el fin de romper la testa y obtener mayor germinación.

### **Sustrato**

Como sustrato se utilizó turba de sphagnum (Pro Mix ®) y perlita (Hortiperl ®) en una proporción 2:1 v/v. El trasplante se realizó el día 25 de junio de 2016 cuando las plántulas alcanzaron una altura de 15 cm en bolsas de polietileno con capacidad de 10 L, y se colocaron a una distancia de 40 cm entre plantas y 1.0 metros entre surcos, (densidad de plantación de 20,750 plantas ha<sup>-1</sup>).

### **Desarrollo del cultivo**

El cultivo se desarrolló en cuatro macro túneles de color, con malla raschel con 30% de sombreo, con un tamaño de 6 x 8 mm; cada túnel de 4 m de ancho, 6 m de largo y 2.30 m de alto; un macro túnel con las mismas dimensiones, cubierto con polietileno blanco lechoso con 20% de sombra (tipo invernadero), y campo abierto con 0% de sombra. Las plantas fueron de crecimiento libre, no se podaron, tampoco se tutoraron.

### **Solución nutritiva y sistema de riego**

El cultivo se mantuvo mediante solución nutritiva (Steiner 1976), al 25% en plántula, al 50% en desarrollo vegetativo, 75% en floración y 100% en fructificación. Durante el segundo ciclo de cultivo se disminuyó el aporte de fosforo a 25%, con el fin de que las endomicorrizas presentaran sinergia con las plantas. El aporte de agua se realizó de 0.50 a 2.50 L planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, con un sistema de fertirriego por estacas.

### **Extracción de esporas de hongos micorrícicos arbusculares nativos**

La extracción de esporas se realizó a partir de muestras de suelo (200 g), obtenidas de la rizósfera de plantas de chile piquín silvestre; utilizando el método de tamizado húmedo (tamices No. 50  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  y 325  $\mu\text{m}$ , y decantación (Genderman y Nicolson, 1963), seguido por centrifugación en un gradiente de sacarosa 2 M a 3500 rpm durante 5 min. Las esporas sujetas a centrifugación fueron las retenidas por el tamiz de 325  $\mu\text{m}$ . Una vez que se obtuvieron la muestra de esporas limpias se contaron usando un microscopio estereoscópico y se agruparon por su morfología (forma, color y tamaño). La descripción taxonómica de las especies encontradas se determinó de acuerdo con la descripción que proporciona el INVAM (2016).

Se obtuvo un conglomerado de cuatro especies (*Glomus mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis coremioides* y *Gigaspora albida*)

### **Inoculación del conglomerado**

La inoculación del conglomerado obtenido se realizó el 16 de junio de 2017, durante el inicio del segundo ciclo de cultivo, se inocularon 22 g de suelo que contenían las cuatro especies antes mencionadas, haciendo una excavación en cada maceta en los costados de la raíz.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental factorial con arreglo completamente al azar, con tres factores (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Descripción de factores evaluados

| Factor A: Cubiertas | Factor B: Ecotipos*     |
|---------------------|-------------------------|
| CA: Campo abierto   | SAC: San Alberto, Coah. |
| INV: Invernadero    | MZC: Muzquiz, Coah.     |
| MN: Malla negra     | LNL: Linares, N. L.     |
| MR: Malla roja      | SNL: Santiago, N. L.    |
| MA: Malla azul      | PTZ: Puente T. Zac.     |
| MB: Malla blanca    | RTZ: Rio Tuxpan, Zac.   |

\*Los ecotipos se inocularon con el conglomerado nativo, y ecotipos sin inocular.

**Variables evaluadas**

Se midieron variables microclimáticas las cuales fueron temperatura ambiental y humedad relativa con un termo higrómetro digital (Taylor®, modelo 1452). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se registró con un sensor portátil Quantum (Apogee®, modelo SM-700). Las mediciones se realizaron entre las 07:00 y 19:00 h, en el centro de cada cubierta, en condiciones de cielo despejado. A los 120 días de haber comenzado el segundo ciclo se evaluaron los caracteres morfológicos; altura de planta (AP), y longitud de entrenudos (DEN) y longitud de raíz (LR) con cinta métrica. El diámetro de tallo (DT), diámetro de fruto (DDF), con un vernier digital (Digital Caliper ®), el rendimiento promedio de fruto se estimó mediante el peso de frutos por planta, con una báscula electrónica Rhino modelo BABOL-100G con capacidad de 100 g y resolución mínima de 0.01 g. El peso fresco de planta (PFP) y de raíz, (PFR) se determinó en una báscula OHAUS modelo CS-5000 con capacidad de 5 kg. Para obtener el peso seco de planta (PSP) y de raíz (PSR), las muestras fueron colocadas en papel estraza y sometidas a 65° C durante 48 horas en una estufa de secado Yamato modelo DX-602, y posteriormente se pesaron en la báscula antes mencionada. Se estimó el número de hojas (NH), el número de frutos por planta (NFPP), el número de semillas (NS) mediante el conteo cada variable antes mencionada.

Se determinaron las siguientes variables bioquímicas: el contenido de clorofila a, b y total en hojas por el método propuesto por Arnon (194) modificado por Munira *et al.* (2015), en el cual se pesó 1 g de material vegetal fresco, se homogeneizo

en mortero, se le agregó 5 ml de acetona al 90% y se re-homogeneizo, y se le adicionó 1 g de carbonato de magnesio, posteriormente se tomaron 2 mL del homogen y se colocó en tubo eppendorf, se centrifugó por 5 minutos a 10,000 rpm a 4° C, se extrajo el sobrenadante, y se leyeron las absorbancias de clorofila “a” y “b” a 663 y 645 nm respectivamente, el contenido de clorofila se expresa como mg g<sup>-1</sup>, y se determinó usando las siguientes formulas:

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = 25.38 \cdot A_{663} + 3.64 \cdot A_{645}$$

$$\text{Clorofila b } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = 30.38 \cdot A_{645} - 6.58 \cdot A_{663}$$

$$\text{Clorofila total } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = 18.8 \cdot A_{663} + 34.02 \cdot A_{645}$$

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron con un refractómetro digital HANNA 96-801, en el cual se colocó una gota de pulpa de fruto en el campo visible del aparato, obteniendo el contenido expresado en °Brix. El contenido de ácido ascórbico (Vitamina C), (VitC) en frutos se determinó mediante la metodología de la AOAC (2000) por medio de titulación al cambio de color.

El contenido de fenoles totales (FT) se estimó, mediante el procedimiento de (Kim *et al.*, 2006; citado por Chen *et al.*, 2013), en el cual se pesó 2 g de fruto de chile piquín fresco y se colocaron en 20 mL de metanol al 80%, durante 12 horas a 4° C, transcurrido el tiempo se agito a 12,000 rpm durante 5 minutos, se tomó una alícuota de 200 µL del sobrenadante mezclado con 150 µL del agente Folin Cicoaltaeu 2 N (Singleton y Ross, 1956), se le añadieron 2 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 2%, dejándolo incubar por 25 minutos, y finalmente se leyó la absorbancia a 735 nm; la curva de calibración se realizó con ácido gálico.

La cuantificación de capsaicina (CAPs) fue determinada en frutos con madurez fisiológica, por el método descrito por Bennet y Kirby (1968), mediante un espectrofotómetro (Bio-145025 BIOMATE-5 Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda de 286 nm, en la cual la capsaicina se encuentra en su fase orgánica. Para la determinación de la concentración se construyó una curva de calibración de este antioxidante (Sigma, Co) en un rango 0.50 a 1.10 mg mL<sup>-1</sup>, las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra. Para determinar el valor de pungencia en Unidades escoville (SHU), en cada muestra es necesario multiplicar la concentración de Capsaicina presente (g/kg) por el SHU (16) del



compuesto puro, al añadir este valor se obtiene un valor total de SHU (Núñez *et al.*, 2003).

Así mismo, se cuantificó el número de esporas en 100 g de suelo por método de tamizado húmedo y decantación (Genderman y Nicolson, 1963); La limpieza y tinción de raíces se llevó de acuerdo con Walker (2005) y la colonización según McGonigle *et al.* (199), la cual consiste en lavar las raíces con agua corriente, cortarlas y colocarlas en tubos falcón de 25 mL, cubrirlas con KOH al 10% por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo se enjuagaron con abundante agua corriente, se cubrieron con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, durante 5 minutos, posteriormente se enjuagaron con agua corriente, se cubrieron las raíces con HCl al 10%, por 10 minutos, seguido se escurrió el HCl y sin enjuagar las raíces, se les añadió la solución azul de tripano al 0.05% por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo se escurrió el colorante con ayuda de un tamiz y se colocaron en lactoglicerol, se montaron segmentos de raíz de 1 cm en un portaobjetos, se cubrieron y se observaron en un microscopio óptico (Axio Scope A1, Carl Zeiss, Microscopy GmbH, Gottingen, Germany).

### **Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos de la determinación de cada variable fueron sometidos a ANOVA y prueba de comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), mediante el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La radiación fotosintéticamente activa (RFA), en cada cubierta fue reducida en comparación con la percibida a campo abierto (Cuadro 3), fue la malla blanca la que redujo hasta en 50.38%, así mismo la temperatura se modificó en cada cubierta, a malla blanca presentó la menor temperatura con 29.01 °C, mientras que la humedad relativa en el ambiente fue la malla azul exhibió el mayor valor con 34.02%. Una menor RFA que incide sobre las plantas debe tener un efecto directo en la tasa de fotosíntesis, en el crecimiento y rendimiento de las plantas, por lo que las plantas expuestas totalmente al sol fueron de menor tamaño y rendimiento. Así mismo la temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante en la conductancia estomática foliar, por lo tanto, en la tasa de transpiración y la fotosíntesis de la planta (Righi *et al.*, 2012).

Al respecto, Martínez *et al.* (2016), al evaluar el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) bajo cuatro cubiertas de color azul, rojo, perla y negro con 50% de sombreo, encontraron una reducción en la RFA, y en la cubierta de color rojo incrementó la altura de planta, diámetro del tallo y número de brotes. Así mismo Retamales *et al.* (2008), en el cultivo de arándano demostraron que la RFA transmitida por mallas de color blanco y rojo con 35 % de sombreo, y la malla gris con 50 % de sombra, redujeron la RFA hasta un 29 %, mientras que las mallas de color rojo, con 50% de sombra y malla negra con 35% sombra, disminuyeron la RFA en 41 y 47 %, respectivamente, en comparación al campo abierto.

Por lo cual el uso de mallas sombra resulta relevante para disminuir el impacto de la alta intensidad de luz en condiciones de campo abierto, transformando la radiación directa en dispersa lo cual permite que la luz penetre en el dosel interno de la planta previniendo quemaduras y dando un moderado efecto de enfriamiento (Ilic *et al.*, 2017).

**Cuadro 3.** Valores promedio de la radiación y temperatura registradas durante el segundo ciclo de producción de chile piquín bajo las diferentes cubiertas.

| Cubierta      | Reducción de RFA /CA (%) | Temperatura (°C) | HR (%) |
|---------------|--------------------------|------------------|--------|
| Malla roja    | 44.71                    | 31.13c           | 32.51c |
| Malla azul    | 51.25                    | 30.03cd          | 34.02a |
| Malla blanca  | 50.38                    | 29.01d           | 32.59b |
| Malla negra   | 47.22                    | 31.67            | 32.77b |
| Invernadero   | 8.42                     | 32.81b           | 31.28d |
| Campo abierto | 0                        | 33.66a           | 32.41b |

CA: Campo abierto, HR: Humedad relativa

El análisis de varianza aplicado a los factores evaluados, así como su interacción mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ), entre cubiertas y ecotipos+conglomerado en AP, DT, DEN, NH y LR (Cuadro 4), lo que sugiere la existencia de variabilidad en los caracteres agronómicos y puede ser de utilidad para la mejora de estos.

**Cuadro 4.** Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables agronómicas de plantas de chile piquín

| F.V.         | GL | AP         | DT       | DEN     | NH          | LR        |
|--------------|----|------------|----------|---------|-------------|-----------|
| Eco+cong     | 11 | 6789.34**  | 63.14**  | 15.78** | 237438.30** | 450.67**  |
| Cub          | 5  | 12650.26** | 457.89** | 30.05** | 76468.77**  | 2926.84** |
| Eco+cong*Cub | 55 | 592.43**   | 11.96**  | 2.27**  | 37322.92**  | 50.01**   |
| C.V. (%)     |    | 9.53       | 5.82     | 9.35    | 7.28        | 8.54      |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.001$ ); AP: altura de planta; DT: diámetro de tallo; DEN: distancia entre nudos; NH: número de hojas; LR: longitud de raíz.

Las comparaciones de medias muestran diferencias entre medias de las variables evaluadas incrementando los resultados en comparación con el testigo (Cuadro 5). Aunque la malla blanca mostró los valores mayores en AP, DT, DEN

y NH, siendo 320.14, 323.47, 168.12 y 439.90 % superior a lo obtenido en campo abierto respectivamente, mientras que la LR fue mayor en la malla azul, con un 234.37 % en comparación con la producción en campo abierto. Esto se puede deber en respuesta a la reducción de la luz (Salisbury y Ross, 2000). Estudios realizados en mallas de color, reportan que la altura de la planta se ve afectada por el color de la malla, en pimiento morrón la mayor altura se obtiene en mallas azules (Ayala *et al.*, 2015); y en albahaca en malla negra (Martínez *et al.*, 2016). Todos los ecotipos inoculados mostraron diferencia estadística con sus respectivos testigos, pero el ecotipo RTZ inoculado mostró los valores mayores en las variables AP, DT, DEN, NH y LR en 321.06, 184.37, 167.10, 302.25 y 144.12% más que el ecotipo SAC sin inocular quien mostro los peores resultados en las mismas variables respectivamente.

Resultados similares reportan Angulo *et al.* (2017) al evaluar en dos especies de *Capsicum* la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) utilizando dos conglomerados (formados por: *Funneliformis aff. Geosporum*, *Claroideoglobus spp.*; y *Rhizophagus fasciculatus*, *Glomus sp.*, *Archaeospora sp.*), los cuales incrementaron altura de planta, diámetro de tallo y el número de hojas. Por lo cual estos resultados manifiestan la importancia que tienen los microorganismos en el desarrollo de cultivos hortícolas, ya que permiten la reducción de los fertilizantes químicos (Hartmann *et al.*, 2015).

**Cuadro 5.** Valores medios obtenidos en los caracteres agronómicos en los factores evaluados en chile piquín

| <b>Cubierta</b>             | <b>AP (cm)</b> | <b>DT (mm)</b> | <b>DEN (cm)</b> | <b>NH</b> | <b>LR (cm)</b> |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------|----------------|
| <b>CA</b>                   | 22.94e         | 4.10f          | 3.43d           | 108.25d   | 15.10d         |
| <b>INV</b>                  | 48.58c         | 7.42d          | 5.34b           | 197.48c   | 33.77b         |
| <b>MN</b>                   | 44.62d         | 6.96e          | 4.85c           | 190.27c   | 28.44c         |
| <b>MR</b>                   | 53.69b         | 9.76b          | 4.65c           | 299.54b   | 29.79c         |
| <b>MA</b>                   | 47.25cd        | 9.39c          | 4.65c           | 287.81b   | 36.12a         |
| <b>MB</b>                   | 73.42a         | 13.23a         | 5.75a           | 476.21a   | 35.40ab        |
| <b>Ecotipo+conglomerado</b> |                |                |                 |           |                |
| <b>SAC cong</b>             | 39.75e         | 7.53ef         | 4.85bc          | 189.04f   | 32.16bc        |
| <b>SAC test</b>             | 27.75g         | 6.27g          | 3.83e           | 156.38h   | 24.75ef        |
| <b>MZC cong</b>             | 50.33cd        | 9.65c          | 5.25b           | 321.79c   | 33.42abc       |
| <b>MZC test</b>             | 34.47f         | 7.27f          | 4.13de          | 223.29e   | 24.50f         |
| <b>SNL cong</b>             | 55.33c         | 8.71d          | 4.81bc          | 260.63d   | 34.25abc       |
| <b>SNL test</b>             | 36.83ef        | 6.65g          | 3.98e           | 185.71fg  | 27.33de        |
| <b>LNL cong</b>             | 67.33b         | 10.54b         | 6.02a           | 414.54b   | 34.71ab        |
| <b>LNL test</b>             | 37.58ef        | 8.05e          | 4.29de          | 266.92d   | 28.63d         |
| <b>PTZ cong</b>             | 49.58d         | 9.88c          | 5.13b           | 267.96d   | 31.71c         |
| <b>PTZ test</b>             | 39.63e         | 7.58ef         | 4.08de          | 166.33gh  | 25.00ef        |
| <b>RTZ cong</b>             | 89.00a         | 11.56a         | 6.40a           | 472.67a   | 35.67a         |
| <b>RTZ test</b>             | 53.50cd        | 8.03e          | 4.56cd          | 193.88f   | 25.13ef        |

AP: altura de planta; DT: diámetro de tallo; DEN: distancia entre nudos; NH: número de hojas; LR: longitud de raíz.

El análisis de varianza realizado a las variables de biomasa fresca y seca en plantas de chile piquín evaluadas, muestran que para los dos factores hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ), demostrando que al menos una cubierta, un ecotipo y la aplicación del conglomerado tuvo influencia sobre las plantas evaluadas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables de biomasa fresca y seca en plantas de chile piquín

| F.V.                | G.L. | PFP         | PSP        | PFR       | PSR       |
|---------------------|------|-------------|------------|-----------|-----------|
| <b>Eco+cong</b>     | 11   | 26965.56**  | 5012.97**  | 498.88**  | 270.98**  |
| <b>Cub</b>          | 5    | 195352.56** | 45668.22** | 2997.14** | 1677.64** |
| <b>Eco+cong*cub</b> | 55   | 3431.35**   | 894.26**   | 89.49**   | 38.92**   |
| <b>C.V.</b>         |      | 13.78       | 14.59      | 9.91      | 14.86     |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ); PFP: peso fresco de planta; PSP: peso seco de planta; PFR: peso fresco de raíz; PSR: peso seco de raíz.

En las variables de biomasa fresca y seca todas las cubiertas tuvieron efecto positivo en las plantas evaluadas, al ser comparadas con la producción a campo abierto, resultando ser la malla blanca con los mayores valores, superando en 696.01, 853.57, 327.07 y 491.03 % el PFP, PSP, PFR y PSR, respectivamente, en comparación a CA.

Cheng *et al.* (2013) y Tang *et al.* (2015) coinciden con los resultados obtenidos en este trabajo, y sustentan que el efecto en el incremento de la biomasa corresponde a cambios morfofuncionales promovidos por las plantas, para usar más eficientemente la radiación disponible y así mantener una capacidad fotosintética adecuada, lo que depende de la disponibilidad de esta, ya sea aumentando la superficie foliar por cantidad de biomasa invertida, o a través del aumento de hojas.

El ecotipo RTZ inoculado resultó ser 443.52 y 403.54 % mayor en las variables PFP y PSP en contraste con los resultados obtenidos por el ecotipo SAC sin inocular, en la variable PFR resultó mejor el ecotipo LNL inoculado, superando en 167.49% al ecotipo SAC sin inocular quien obtuvo los valores menores, mientras que en PSR el ecotipo MZC 273.37 % mayor en contraste con RTZ sin inocular quien mostró los valores estadísticos menores (Cuadro 7). Lo anterior coincide con Aguirre-Medina & Kohashi-Shibata (2002), quienes encontraron que la inoculación con HMA incrementó el desarrollo de la parte aérea, pero provocó

un menor peso seco de la raíz en frijol. Lo que indica que el contenido de biomasa de la raíz de plantas microtróficas está regulada por los HMA.

**Cuadro 7.** Valores medios en el contenido de biomasa obtenido en los factores evaluados en plantas de chile piquín

| <b>Cubierta</b>            | <b>PFP (g)</b>      | <b>PSP (g)</b> | <b>PFR (g)</b> | <b>PSR (g)</b> |
|----------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>CA</b>                  | 24.81e              | 11.34f         | 10.60e         | 4.36e          |
| <b>INV</b>                 | 48.71d              | 23.86d         | 22.81b         | 12.36c         |
| <b>MN</b>                  | 43.04d              | 19.56e         | 18.13d         | 7.21d          |
| <b>MR</b>                  | 93.63b              | 36.59b         | 21.14c         | 11.74c         |
| <b>MA</b>                  | 64.13c              | 29.31c         | 24.31b         | 14.54b         |
| <b>MB</b>                  | 200.52 <sup>a</sup> | 96.71a         | 34.68a         | 21.32a         |
| <b>Ecotipo + micorriza</b> |                     |                |                |                |
| <b>SAC cong</b>            | 52.63f              | 24.57h         | 22.78c         | 13.84cd        |
| <b>SAC test</b>            | 37.08g              | 17.20i         | 17.81d         | 8.73g          |
| <b>MZC cong</b>            | 92.54c              | 42.90cd        | 29.33a         | 17.25a         |
| <b>MZC test</b>            | 60.33def            | 26.53gh        | 18.80d         | 11.12ef        |
| <b>SNL cong</b>            | 89.83c              | 43.96c         | 22.99c         | 12.41de        |
| <b>SNL test</b>            | 60.04def            | 30.36fg        | 17.45d         | 9.22fg         |
| <b>LNL cong</b>            | 105.08b             | 53.61b         | 29.83a         | 16.65ab        |
| <b>LNL test</b>            | 69.79d              | 34.13ef        | 22.43c         | 11.27e         |
| <b>PTZ cong</b>            | 93.71bc             | 37.36de        | 22.63c         | 12.71de        |
| <b>PTZ test</b>            | 57.54ef             | 26.66gh        | 17.15d         | 8.70g          |
| <b>RTZ cong</b>            | 164.46a             | 69.41a         | 25.43b         | 14.83bc        |
| <b>RTZ test</b>            | 66.63de             | 28.05gh        | 16.73d         | 6.31h          |

PFP: peso fresco de planta; PSP: peso seco de planta; PFR: peso fresco de raíz; PSR: peso seco de raíz.

El análisis de varianza en rendimiento y sus componentes exhibieron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los dos factores evaluados (Cuadro 8), lo que sugiere la existencia de al menos una cubierta y un ecotipo inoculado o no será apto para desarrollar la producción de chile piquín.

**Cuadro 8.** Cuadrados medios de los factores evaluados para la variable de rendimiento y sus componentes en chile piquín

| F.V.                | G.L. | REND      | NFPP        | DDF      | NS       |
|---------------------|------|-----------|-------------|----------|----------|
| <b>Ecotipo+cong</b> | 11   | 7327.02** | 43831.04**  | 66.77**  | 823.35** |
| <b>Cub</b>          | 5    | 5363.55** | 101742.63** | 376.66** | 578.82** |
| <b>Eco+cong*cub</b> | 55   | 753.78**  | 3912.60**   | 5.81**   | 25.43**  |
| <b>C.V. (%)</b>     |      | 5.89      | 5.81        | 1.92     | 8.73     |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ); REND: rendimiento; NFPP: número de frutos por planta; DDF: diámetro de frutos; NS: número de semillas.

Las cubiertas utilizadas propiciaron un incremento en el rendimiento y sus componentes (Cuadro 9), en contraste al campo abierto, resultando mejor la malla blanca en REND, NFPP y DDF, siendo 678.36, 484.88 y 232.25% superior a los valores obtenidos en la producción sin cubierta (CA), mientras que la MA y la MB presentaron 186.71 y 184.94% mayor NS en contraste al CA. Al estudiar pepino (*Cucumis sativus*), bajo malla blanca, malla sombra negra y polietileno como cubiertas, en invernaderos mediterráneos, se encontró que, bajo la malla blanca, se incrementó el rendimiento del pepino (Sánchez-Guerrero *et al.* 2010); pero difiere a lo obtenido por Ramos-López *et al.* (2017) al obtener mayor rendimiento en tomate de cascara en la cubierta polietileno transparente, y mayor número de frutos en la misma, mientras que con la cubierta blanca se observó el menor rendimiento. El rendimiento, tamaño y calidad en *Capsicum* provocado por el efecto de sombreado, depende en gran medida del área geográfica y tecnología de los cultivos (Zhu *et al.*, 2012).

Los ecotipos inoculados fueron estadísticamente superiores a los que no fueron inoculados (Cuadro 9), de forma general el ecotipo RTZ inoculado con el conglomerado mostró los valores más altos, en un 1435.32, 398.43, 158.35 y 335.08 %, al contrastarlo con el ecotipo SAC sin inocular, en las variables REND, NFPP, DDF y NS. Ley-Rivas *et al.* (2015), al evaluar cuatro especies de HMA en el cultivo de tomate, encontraron mayor número de frutos en el tratamiento con *Glomus sp. 2* y mayor rendimiento obtenido con la aplicación de *Glomus sp. 1*,



en comparación con el testigo. En general el rendimiento y número de fruto obtenido en nuestro estudio por planta difiere de lo reportado por Castellón *et al.* (2014), al evaluar 14 colectas de chile piquín nativo bajo invernadero, donde reporta rendimientos desde 1.6 hasta 31.3 g por planta y número de frutos desde los 8.8 hasta 118.4 por planta.

**Cuadro 9.** Valores medios en rendimiento obtenido y sus componentes bajo los diferentes factores en plantas de chile piquín

| <b>Cubierta</b>               | <b>REND (g)</b> | <b>NFPP</b> | <b>DDF (mm)</b> | <b>NS</b> |
|-------------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------|
| <b>CA</b>                     | 5.50f           | 36.52f      | 5.24f           | 10.17e    |
| <b>INV</b>                    | 14.80e          | 93.79d      | 7.00d           | 13.42d    |
| <b>MN</b>                     | 16.81d          | 80.10e      | 6.73e           | 15.25c    |
| <b>MR</b>                     | 18.08c          | 113.08b     | 8.17c           | 17.69b    |
| <b>MA</b>                     | 22.80b          | 105.17c     | 11.61b          | 18.98a    |
| <b>MB</b>                     | 37.42a          | 177.08a     | 12.17a          | 18.79a    |
| <b>Ecotipo + conglomerado</b> |                 |             |                 |           |
| <b>SAC cong</b>               | 9.65f           | 71.00f      | 7.84g           | 12.04gh   |
| <b>SAC test</b>               | 4.53h           | 48.00h      | 7.54h           | 8.38j     |
| <b>MZC cong</b>               | 32.94c          | 149.21b     | 8.67c           | 21.33c    |
| <b>MZC test</b>               | 19.21e          | 118.29c     | 8.45d           | 14.25f    |
| <b>SNL cong</b>               | 10.61f          | 87.25e      | 8.27e           | 15.96de   |
| <b>SNL test</b>               | 7.92g           | 68.96f      | 8.05f           | 10.21i    |
| <b>LNL cong</b>               | 14.47e          | 102.13d     | 8.30de          | 16.58d    |
| <b>LNL test</b>               | 9.39f           | 86.25e      | 8.02f           | 13.04fg   |
| <b>PTZ cong</b>               | 13.32e          | 81.25e      | 6.71i           | 14.50ef   |
| <b>PTZ test</b>               | 7.83g           | 60.54g      | 6.48j           | 10.79hi   |
| <b>RTZ cong</b>               | 65.02a          | 191.25a     | 11.94a          | 28.08a    |
| <b>RTZ test</b>               | 35.93b          | 147.38b     | 11.59b          | 23.42b    |

REND: rendimiento; NFPP: número de frutos por planta; DDF: diámetro de frutos; NS: número de semillas.

El análisis de varianza reveló diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las variables bioquímicas tanto en hoja como en fruto, provocada por los factores evaluados (Cuadro 10), lo que sugiere que tanto las cubiertas, como los ecotipos y la aplicación de la micorriza, tienen efecto en el contenido de los compuestos bioquímicos.

**Cuadro 10.** Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables bioquímicas en hoja y fruto

| F.V.                     | G.L | Cl a     | Cl b      | Cl T      | Vit C     | SST     | FT        |
|--------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| <b>Eco+cong</b>          | 11  | 545.83** | 4820.90** | 8172.54** | 4695.57** | 22.29** | 1467.90** |
| <b>Cub</b>               | 5   | 273.18** | 608.53**  | 1537.34** | 5228.74** | 68.94** | 1397.73** |
| <b>Eco+cong*cu<br/>b</b> | 55  | 69.68**  | 303.43**  | 591.44**  | 794.06**  | 10.31** | 268.73**  |
| <b>C.V.</b>              |     | 3.28     | 8.46      | 4.62      | 0.85      | 5.09    | 5.79      |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; G.L. grados de libertad; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ); Cl a: clorofila "a" en hoja; Cl b: clorofila "b" en hoja; Cl T: clorofila total en hoja; VitC: vitamina C; SST: sólidos solubles totales; FT: fenoles totales.

Las cubiertas incrementaron el contenido de compuestos bioquímicos en hoja y frutos de las plantas de chile piquín (Cuadro 11). El contenido de Cl "a" fue mayor en la cubierta tipo INV, siendo 107.36% mayor que lo obtenido en CA, en Cl "b" los valores mayores se presentaron en MB y MA siendo 116.55 y 111.96% mayor en contraste a la producción sin cubierta, por lo tanto, la Cl total, fue mayor en la MB, INV y MA, en 109.25, 108.59 y 106.98% comparados con lo obtenido en CA. Los mayores contenidos de VitC y FT se obtuvieron en la MB, en un 143.73 y 144.36% respectivamente, en oposición al campo abierto, mientras que los SST fueron mayores en INV, MB y MR, con un 115.11, 114.62 y 112.43% respectivamente, al contrastar lo obtenido en la producción sin cubierta. Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de clorofila coinciden con Bustos (2009) quien encontró mayor contenido de clorofila en plantas de eucalipto bajo malla de color azul. Las hojas de *Capsicum* bajo redes de sombra azul tienen el mayor contenido de clorofila en comparación con otras mallas sombra de color (Ilic *et al.*, 2017). El contenido de fenoles totales en la malla sombra perla fue

estadísticamente superior de la producción en campo abierto y otras redes de sombra de color, en el cultivo de lechuga (Ilić *et al.*, 2017).

El ecotipo RTZ inoculado y sin inocular (testigo) presentaron los mayores valores en el contenido de clorofila “a”, “b” y total, superando en 122.04, 195.17 y 147.61 % al ecotipo SAC sin inocular, el contenido de vitamina C en frutos, fue mayor en los ecotipos SAC y LNL inoculados, obteniendo 187.91 y 186.90% mayor contenido que el ecotipo SNL sin inocular. El contenido de sólidos solubles totales fue mayor e igual estadísticamente en los ecotipos MZC y 18.96 sin inocular en 116.68% en contraste con el ecotipo SAC inoculado. El contenido de fenoles totales fue mayor e igual estadísticamente en el ecotipo SNL inoculado y sin inoculo, superando en 164.04 % lo obtenido por el ecotipo SAC sin inocular.

Grimaldo-Pantoja *et al.* (2017), reportan mayor contenido de fenoles totales en frutos de chile jalapeño, al inocular HMA nativos del desierto Chihuahuense, después de haber sido propagados en trigo como cultivo trampa, al igual el contenido de vitamina C se incrementó hasta un 205.91% en comparación con las plantas sin inoculo. Estudios realizados por Castellón *et al.* (2014) y Vera-Guzmán *et al.* (2011), en especies silvestres de chile piquín demuestran valores bajos (4.58 ° brix) en el contenido de sólidos solubles totales, en contraste con lo obtenido en este trabajo.

**Cuadro 11.** Valores medios en el contenido de compuestos bioquímicos en hoja y fruto de chile piquín

| <b>Cubierta</b>               | <b>Cl a</b> | <b>Cl b</b> | <b>Cl T</b> | <b>Vit C</b> | <b>SST</b>         | <b>FT</b> |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|-----------|
| <b>CA</b>                     | 78.53c      | 49.64b      | 128.17b     | 60.85f       | 16.41c             | 34.77e    |
| <b>INV</b>                    | 84.31a      | 54.88a      | 139.19a     | 67.84d       | 18.90 <sup>a</sup> | 39.87c    |
| <b>MN</b>                     | 78.99c      | 49.19b      | 128.18b     | 66.30e       | 16.69c             | 37.09d    |
| <b>MR</b>                     | 78.46c      | 51.09b      | 129.55b     | 84.29b       | 18.46 <sup>a</sup> | 42.42b    |
| <b>MA</b>                     | 81.53b      | 55.58a      | 137.12a     | 71.24c       | 17.52b             | 43.05b    |
| <b>MB</b>                     | 82.16b      | 57.87a      | 140.03a     | 86.96a       | 18.82 <sup>a</sup> | 50.18a    |
| <b>Ecotipo + conglomerado</b> |             |             |             |              |                    |           |
| <b>SAC cong</b>               | 78.48ef     | 60.27c      | 138.76d     | 83.83a       | 16.54f             | 35.84efg  |
| <b>SAC test</b>               | 71.34g      | 38.33fg     | 109.66g     | 82.13b       | 16.89def           | 33.99g    |
| <b>MZC cong</b>               | 78.79def    | 42.17ef     | 120.95f     | 68.64f       | 17.85cd            | 38.58d    |
| <b>MZC test</b>               | 79.59de     | 49.71d      | 129.30e     | 67.36g       | 19.30 <sup>a</sup> | 36.35defg |
| <b>SNL cong</b>               | 87.50a      | 67.46b      | 154.96b     | 45.81h       | 17.81cd            | 54.98a    |
| <b>SNL test</b>               | 84.15bc     | 62.27c      | 146.42c     | 44.61i       | 18.96ab            | 55.76a    |
| <b>LNL cong</b>               | 81.37cd     | 50.92d      | 132.30de    | 83.38a       | 16.68ef            | 37.16de   |
| <b>LNL test</b>               | 79.82de     | 46.77de     | 126.58ef    | 82.56b       | 18.15bc            | 34.49fg   |
| <b>PTZ cong</b>               | 78.11ef     | 35.56g      | 113.67g     | 80.51c       | 17.32cdef          | 38.39de   |
| <b>PTZ test</b>               | 76.08f      | 35.50g      | 111.58g     | 79.40d       | 19.30 <sup>a</sup> | 36.68def  |
| <b>RTZ cong</b>               | 87.07a      | 74.81a      | 161.88a     | 79.18d       | 17.54cde           | 49.33b    |
| <b>RTZ test</b>               | 85.66ab     | 72.73a      | 158.39ab    | 77.58e       | 17.32cdef          | 43.23c    |

Cl a: clorofila "a" en hoja; Cl b: clorofila "b" en hoja; Cl t: clorofila total en hoja; Vit C: vitamina C; SST: sólidos solubles totales; FT: fenoles totales.

El análisis de varianza realizado a la variable de contenido de capsaicina y su componente, mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ), provocada por los factores evaluados (Cuadro 12). Lo que indica que al menos una de las diferentes cubiertas, la variabilidad genética de los ecotipos y la aplicación de las micorrizas provocaron un efecto en el contenido de Capsaicina y por consiguiente de las unidades scoville.

**Cuadro 12.** Cuadrados medios de los factores evaluados para contenido de capsaicina y valores de pungencia en chile piquín

| <b>F.V.</b>         | <b>G.L.</b> | <b>CAPs</b> | <b>SHU</b>     |
|---------------------|-------------|-------------|----------------|
| <b>Eco+cong</b>     | 11          | 0.24**      | 61634600.28**  |
| <b>Cub</b>          | 5           | 1.47**      | 376280777.91** |
| <b>Eco+cong*cub</b> | 55          | 0.14**      | 37041167.68**  |
| <b>C.V. (%)</b>     |             | 3.98        | 3.98           |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ); CAPs: capsaicina; SHU: unidades scoville.

Las cubiertas utilizadas provocaron un aumento en el contenido de capsaicina en los frutos de chile piquín (Cuadro 13), en contraste con los frutos de campo abierto, siendo la MA y la MB los que incrementaron en 118.04 y 115.78% respectivamente, en comparación con el CA, por ende, (SHU) el contenido de unidades scoville es mayor dentro de las mismas cubiertas, en 118.26 y 115.83% con respecto a los frutos de campo abierto.

En cuanto a ecotipos el que presentó mayor contenido de capsaicina fue el ecotipo PTZ inoculado, en 110.56 %, superior contrastándolo con el ecotipo LNL sin inocular que presentó el menor contenido de capsaicina, al igual que el ecotipo MZC sin inocular. Derivado al contenido de capsaicina las unidades escoville fueron mayores en el ecotipo PTZ inoculado, con 110.81% más en contraste a lo obtenido con el ecotipo MZC. López-López *et al.* (2015) reportan que algunas veces, dentro de una misma especie, el grado de picor está relacionado en las condiciones de estrés determinados por el ambiente en el que se desarrolle cada planta. Las unidades escoville en este estudio son mayor a las reportadas por Sandoval-Rangel *et al.* (2011) al trabajar con chile piquín silvestre proveniente de la región de Linares, Nuevo León. Sin embargo, Montoya-Ballesteros *et al.* (2010) reportan mayor contenido de capsaicina en frutos silvestres de piquín recolectados en la región de Mazocahui, Sonora.

**Cuadro 13.** Valores medios en el contenido de capsaicina y unidades escoville obtenidos en los diferentes factores evaluados en chile piquín

| <b>Cubierta</b>            | <b>CAPs</b> | <b>SHU</b>  |
|----------------------------|-------------|-------------|
| <b>CA</b>                  | 2.66d       | 42611.17d   |
| <b>INV</b>                 | 3.06b       | 48924.00b   |
| <b>MN</b>                  | 3.07b       | 49073.58b   |
| <b>MR</b>                  | 2.95c       | 47225.67c   |
| <b>MA</b>                  | 3.15a       | 50395.17a   |
| <b>MB</b>                  | 3.09ab      | 49357.23ab  |
| <b>Ecotipo + micorriza</b> |             |             |
| <b>SAC cong</b>            | 3.00bc      | 48068.67bc  |
| <b>SAC test</b>            | 2.95cd      | 47255.33cd  |
| <b>MZC cong</b>            | 3.03abc     | 48414.00abc |
| <b>MZC test</b>            | 2.85d       | 45380.67d   |
| <b>SNL cong</b>            | 3.11ab      | 49738.00ab  |
| <b>SNL test</b>            | 2.92cd      | 46764.00cd  |
| <b>LNL cong</b>            | 3.03abc     | 48440.00abc |
| <b>LNL test</b>            | 2.84d       | 45459.33d   |
| <b>PTZ cong</b>            | 3.14a       | 50288.00a   |
| <b>PTZ test</b>            | 3.04abc     | 48733.33abc |
| <b>RTZ cong</b>            | 3.10ab      | 49647.50ab  |
| <b>RTZ test</b>            | 2.94cd      | 46984.79cd  |

CAPs: capsaicina; SHU: unidades scoville.

El análisis de varianza (Cuadro 14), sobre las variables número de esporas y colonización de raíz exhibió diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ), lo que sugiere que al menos uno de los tres factores evaluados influyó en la presencia y aumento de las variables evaluadas.

**Cuadro 14.** Cuadrados medios de los factores evaluados para el contenido de esporas y colonización en plantas de chile piquín

| <b>F.V.</b>         | <b>G.L.</b> | <b>NE</b>  | <b>% COL</b> |
|---------------------|-------------|------------|--------------|
| <b>Eco+cong</b>     | 11          | 21663.26** | 13710.60**   |
| <b>Cub</b>          | 5           | 2986.13**  | 1373.79**    |
| <b>Eco+cong*cub</b> | 55          | 751.53**   | 247.78**     |
| <b>C.V.</b>         |             | 25.81      | 23.62        |

Eco+cong: Ecotipo + conglomerado; Cub: Cubierta; F.V. Fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; \*\* significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ); NE: número de esporas; %COL: porcentaje de colonización.

La prueba de medias demuestra que el sustrato utilizado con mayor número de esporas fue bajo la MB con 204.74% en comparación con el número de esporas obtenidos en los sustratos de campo abierto (Cuadro 15), así mismo el porcentaje de colonización en raíz, fue mayor en las plantas cultivadas bajo MB, superando en 202.66% la colonización en las raíces de las plantas sin cubierta.

En cuanto a ecotipos, el ecotipo con mayor número de esporas, fue SNL inoculado, superando en 133.60 % al ecotipo SAC que también fue inoculado. Mientras que los ecotipos sin inóculo, presentaron valores mínimos, puede ser debido a contaminación de esporas por acción del viento. Mientras que la mayor colonización en raíz se obtuvo en el RTZ que fue inoculado, superando en 118.15 % al ecotipo PTZ inoculado.

En este trabajo el conglomerado utilizado superó el porcentaje de colonización en raíces, en comparación a lo reportado por Angulo-Castro *et al.* (2017), donde el consorcio H3 fue más infectivo en ambos cultivares: 47,2% en pimiento y 42,3% en chile jalapeño; y el inóculo H2 mostró una colonización del 32,8% en chile jalapeño. La efectividad de los inóculos micorrízicos se asocian al genotipo de planta usado, debido a esto, cada especie o cultivar puede presentar diferentes grados de dependencia micorrízica dependiendo de los HMA usados, lo que se refleja en un mayor beneficio para la planta (Hernández-Martínez *et al.*, 2006).

**Cuadro 15.** Valores medios del número de esporas y porcentaje de colonización en raíz obtenida en los diferentes factores en plantas de chile piquín

| <b>Cubierta</b>               | <b>NE</b> | <b>% COL</b> |
|-------------------------------|-----------|--------------|
| <b>CA</b>                     | 22.31d    | 16.17c       |
| <b>INV</b>                    | 29.58c    | 26.42b       |
| <b>MN</b>                     | 36.67b    | 23.67b       |
| <b>MR</b>                     | 31.15bc   | 25.67b       |
| <b>MA</b>                     | 35.83b    | 25.92b       |
| <b>MB</b>                     | 45.73a    | 32.75a       |
| <b>Ecotipo + conglomerado</b> |           |              |
| <b>SAC Cong</b>               | 52.08c    | 49.17ab      |
| <b>SAC Test</b>               | 3.96d     | 2.00c        |
| <b>MZC Cong</b>               | 63.54ab   | 48.83ab      |
| <b>MZC Test</b>               | 2.92d     | 2.00c        |
| <b>SNL Cong</b>               | 69.58a    | 47.50ab      |
| <b>SNL Test</b>               | 2.79d     | 2.67c        |
| <b>LNL Cong</b>               | 58.75bc   | 44.67b       |
| <b>LNL Test</b>               | 2.37d     | 2.33c        |
| <b>PTZ Cong</b>               | 63.96ab   | 44.33b       |
| <b>PTZ Test</b>               | 3.08d     | 2.50c        |
| <b>RTZ Cong</b>               | 64.38ab   | 52.83a       |
| <b>RTZ Test</b>               | 3.12d     | 2.33c        |

NE: número de esporas; %COL: porcentaje de colonización.



## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, el ecotipo que tuvo mayor adaptación para su producción, fue el ecotipo (RTZ), ya que sobresalió en las variables de caracteres agronómicos, de rendimiento y sus componentes. En cuanto a contenido de sólidos solubles totales y fenoles totales, resultó ser mejor el ecotipo SNL, mientras que el contenido MZC obtuvo mayor contenido de vitamina C.

Los caracteres agronómicos y de rendimiento fueron favorecidos bajo la malla blanca, mientras que los compuestos bioquímicos se favorecieron bajo la cubierta tipo invernadero.

La inoculación del conglomerado tuvo efectos positivos en todas las variables evaluadas, por lo que se considera un conglomerado potencial para la producción de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*.

## REFERENCIAS

- Armenta-Bojórquez, A., & García-Gutiérrez, C., & Camacho-Báez, J., & Apodaca-Sánchez, M., & Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). *Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México*. Ra Ximhai, 6 (1), 51-56.
- Arthurs, S.P., Stamps, R.H., Giglia, F.F. (2013) Environmental modification inside photo-selective shade houses. *Horticulturae Science*, 48(8): 975-979.
- Aguirre-Medina, J, F., Kohashi-Shibata, J. (2002). Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fósforo en frijol común. *Agricultura Técnica en México*. 28:23---33.3. Alarcón A, Ferrera-Cerrato
- Angulo-Castro A., Ferrera-Cerato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J. D., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2017). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema ii en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Argentina Microbiology*. Article in press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
- AOAC (2000). Official methods of analysis of AOAC International 15th Washington, D.C.USA. No. C/630.240 O3/2000).
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzyme in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*. 24: 1-15.
- Ayala F. (2012). Aplicación de mallas sombra en horticuivos. *Revista Agrosintesis*. (2) 46-49.
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M., Ruiz-Espinosa, F., Velázquez Alcaraz, T., ... & Parra-Delgado, J. (2015). Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (1), 93-99.
- Bañuelos N; Salido P. L. y Gardea A., (2008). Etnobotánica del Chiltepín. Pequeño gran señor de la cultura de los sonorenses. *Estudios sociales*. Vol. 16, número 32.
- Bennett, D. J. and Kirby, G. W. (1968). Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal Chemistry Society Organic*. 442-446 pp.
- Boby, V.; Balakrishna A.; BagyarajJ D. (2008) Interaction between *Glomus mosseae* and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. *Microbiological Research* 163: 693-700

- Bustos, Salazar. (2009). Ensayo de calidad lumínica en plantas de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* bajo cobertura de malla raschel y papel celofán de colores. *Facultad de ciencias forestales de la Universidad Austral de Chile*.
- Castellano, S., Scarascia-Mugnozza, G., Russo, G., Briassoulis, D., Mistrionis, A., Hemming, S., Waaijenberg, D. (2008). Plastic nets in Agriculture: A General review of types and applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 24: 799-808.
- Castellón Martínez, E, Carrillo-Rodríguez, JC, Chávez-Servia, JL, & Vera-Guzmán, AM. (2014). Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(2), 225-236.
- Chen, S., Jin, W., Liu, A., Zhang, S., Liu, D., Wang, F., & He, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 160, 222-229.
- Cheng, X., M. Yu, G. G. Wang, T. Wu and C. Zhang. (2013). Growth, morphology and biomass allocation in response to light gradient in five subtropical evergreen broadleaved tree seedlings. *Journal of Tropical Forest Science* 25(4): 537-546.
- Elad Y, Y Messika, M Brand, D David, A Sztejnberg (2007). Effect of colored shade nets on pepper powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Phytoparasitica* 35: 285–299.
- Eshbaugh.W.H. (1970). Un estudio biosistemático y evolutivo de *Capsicum baccatum* (Solanaceae). *Revista de descripciones botánicas; Brittonia* 22:31-43.
- Espinoza-Victoria, D., González-Mendoza, D., Placencia-de la Parra, J. & Garcia-Espinoza, R. (2004). Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo. en el sistema radical de plantulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intrarradices*. *Terra Latinoamericana*. 22: 317-326.
- Fallik, E., Alakai-Tuvia, S., Parselan, Y., Aharon, Z., Elmann, A., Offir, Y., Matan, E., Yehezkel, H., Ratner, K., Zur, N., Shahak, Y. (2009). Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing? *Acta Horticulturae*. 830, 37-44.
- Feng, G., Zhang, F.S., LI, X. L., Tian, C., Tang, C., RENGEL, Z. (2002) Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*. 12,185–190

- Garcia-Garrido J, M., Ocampo, J, A. (2002) Regulation of the plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Journal of Experimental Botanic*. 53: 1377-1386
- Gerderman, J; Nicholson, T. (1963) Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Journal BMS*. 46: 235-244.
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., Payvast, G.A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*. 3:44-49.
- Grimaldo-Pantoja, G., Niu, G., Sun, Y., Castro-Rocha, A., Álvarez-Parrilla, E., Flores-Márquez, J., Corral-Díaz, B., & Osuna-Ávila, P. (2017). Efecto negativo del riego salino en componentes del rendimiento y fitoquímicos de chile (*Capsicum annum*) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40 (2), 141-149.
- Goverde, M.; Van Der Heijden, M.A.; Wiemken, A.; Sanders, IR.; Erhardt A. (2000) Arbuscular mycorrhizal fungi influence life history traits of a lepidopteran herbivore. *Oecologia*, 125:362-369
- Govindarajan, V.S. (1985). *Capsicum*: production, technology, chemistry and quality. I. Botany, cultivation and primary processing. *Food Science Nutrition*. 22:109-176.
- Hartmann M, Frey B, Mayer J, Mäder P, Widmer F. (2015) Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*. 9:77---94.
- Hernández-Martínez, M., V. Cetina-Alcalá, M. González-Chávez y C. Cervantes-Martínez (2006). Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Revista Terra Latinoamericana*. 24: 65-73.
- Hornero-Mendez, D., Costa-Garcia, J., Minguez-Mosquera, M. I. (2002). Characterization of carotenoid high-producing *Capsicum annum* cultivars selected for paprika production. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 50:5711-5716
- Howard R; Talcott S. T; Brenes C. H; Villalon B., (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum species*) as influenced by maturity. *Journal Agriculture Food Chemistry* 48: 1713-1720.

- Ilić, Z.S., Milenković, L., Šunić, L., Barać, S., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Fallik, E., (a2017). Effect of shading by color nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Zemdirbyste-Agriculture*. 104, 53–62.
- Ilić, S. Z., Milenkovic, L., Dimitrijevic, A., Stanojevic, L., Cvetkovic, D., Kevresan, Z., Fallik, E., & Mastilovic, J. (b2017). Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. *Scientia Horticulturae*. 226, 389-397.
- INVAM (International cultures collection of VA mycorrhizal fungi). (On line). Viewed May 22, (2016). Available: <http://invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions>
- Kernaghan G. (2005) Mycorrhizal diversity: Cause and effect. *Pedobiologia*. 49: 511- 520
- Kim, H. J., Chen, F., Wang, X., & Rajapakse, N. C. (2006). Effect of methyl jasmonate on secondary metabolites of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6), 2327-2332.
- Kogel, K.H. (2008) Compatible Host–microbe Interactions: Mechanistic Studies Enabling Future Agronomical Solutions. *Plant Physiology*.165:1-8
- Ley-Rivas, Juan Francisco, Sánchez, Jorge Alberto, Ricardo, Nancy Esther, & Collazo, Esther. (2015). Effect of four species of arbuscular mycorrhizal fungi on the production of tomato fruits. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 47-59.
- Long-Solís J. (1986). *Capsicum* y cultura: la historia de chile. Fondo de Cultura Económica, Editorial México. 203 p.
- López-López, A., Espinoza-Santana, S., Cedeña-Duran, C., Ruiz-Alvarado, C., Núñez-Ramírez, F., Araiza-Zúñiga, D. (2015). Biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre compuestos antioxidantes del fruto del cultivo de chile (*Capsicum spp.*) *BioTecnia*. XVII (2):50-57
- López L., P. y F. H. Castro G. (2006). La diversidad de los chiles (*Capsicum spp.*, Solanaceae) de Oaxaca. In: López L. P y S. Montes H. (eds.). 2006. Avances de investigación de la red de hortalizas del SINAREFI. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. 466 p. (Libro Científico Núm. 1). Pp. 135-178.
- Martínez, A.; Santana, L.; Ortiz, Y.D.; Morales, I. and Gutiérrez, F. (2016). Growth and oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under colored shade nets. *Interciencia*. 41(6):428-432.

- Medina T; Rodríguez del B. L. A; Villalón H; Pozo O; Ramírez M; López R; Lara M; Gaona G; Cardona A; Mora A. (2002). El Chile piquín. (*Capsicum annuum* L. var. *Aviculare*) en el Noreste de México. Aspectos ecológicos y socioeconómicos. *Biotam*. 13: 1-14.
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., Swan, J. A. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytology*. 115: 495-501
- Montoya-Ballesteros, L.C., Gardea-Béjar, A., Ayala-Chávez, G.M., Martínez-Núñez, Y.Y., & Robles-Ozuna, L.E. (2010). Capsaicinoides y color en chiltepín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*): Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(2), 197-207.
- Moller, M., Assouline, S. (2007). Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Science*, 25: 171-181.
- Munira, S.; Hossain, M.M.; Zakaria, M.; Ahmed, J.U. & Islam, M.M. (2015). Evaluation of potato varieties against salinity stress in Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science*, 6(2): 73-81.
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C. and Martínez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*. 96: 66-73.
- Núñez, F., R. Gil y J. Costa. (2003). Cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi Prensa, Madrid.
- Ornelas-Paz, J.J., Martínez-Burrola, J.M., Ruiz-Cruz, S., Santana-Rodríguez, V., Ibarra-Junquera, V., Olivas, G.I., Pérez-Martínez, D. (2010). Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers. *Food Chemistry*. 119: 1619-1625.
- Pedraza R. L. C. y Gómez G. A. A., (2008). Análisis exploratorio del mercado y la comercialización de Chile piquín (*C. annuum*, var. *aviculare* Dierb.) en México. *Tecsisotecatl*, vol. 1 (5).
- Pozo C., O. y Ramírez M., M. (2003). Diversidad e importancia de los chiles silvestres. I.er Simposio Regional sobre Chile Piquín: Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. Río Bravo, Tam., México

- Rajan SK, Reddy Bjb, Bagyaraj, DJ. (2000) Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. *Forest Ecology*. 126:91– 95.
- Ramos-López, B, I., Martínez-Gutiérrez, G, A., Morales, I., Escamirosa-Tinoco, C., Pérez-Herrera, A. (2017). Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura Brasileira* 35: 265-270.
- Retamales, J. B., Montecino, J. M., Lobos, G. A., & Rojas, L. A., (2008). Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticultura*. 770, 193-197.
- Requena, N.; Serrano, E.; Ocón, A.; Breuninger, M. (2007). Plant Signals and Fungal Perception During Arbuscular Mycorrhizae Establishment. *Phytochemistry*. 68: 33-40
- Righi, E. Z., Buriol, G. A., Angelocci, L. R., Heldwein, A. B., & Tazzo, I. F. (2012). Relationships of photosynthetic photon flux density, air temperature and humidity with tomato leaf diffusive conductance and temperature. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55 (3), 359-370.
- Rodríguez del B. L. A; Ramírez M. y Pozo C. (2003). El cultivo del chile piquín bajo diferentes sistemas de producción en el noreste de México. In: Memoria del 1er. Simposio regional sobre chile piquín: Avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. *INIFAP-CIRNE*. Campo experimental Río Bravo Tamaulipas. Publicación especial núm. 26. México. pp-16 p.
- Russo, V. and Howard, L. (2002). Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82: 615-624.
- Salisbury, F., & Ross, F. (2000). Fisiología de las Plantas: Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Thompson Editores Spain Paraninfo, S. A. España. 947 p.
- Sánchez-Guerrero, M, C., Alonso, J, F., Lorenzo, P., Medrano, E. (2010). Manejo del clima en el invernadero mediterráneo. España: *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA)*, Consejería de Agricultura y Pesca. Andalucía. 130p
- Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Alvarado-Vázquez, M. A., Foroughbakhch-Pournavab, R., Núñez-González, M. A., Robledo-Torres, V., (2011). Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana* [en línea], 29 (Octubre-Diciembre).

- Simard S., Durall D. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance. *Journal Botanic*.82:1140-65
- Somssich, I., Hahlbrock, K. (1998). Pathogen Defense in Plants: a Paradigm of Biological Complexity. *Trends in Plant Science*. 3: 86–90.
- Suzuki T; Kawada T. an Iwai K. (1981). Biosynthesis of acyl moieties of capsaicin and its analogues from valine and leucine in *Capsicum* fruits. *Plant Cell Physiol*. 22 (1): 23-32.
- Scarascia, G, G., Vox, E. Schenttini (2011). Radiometric properties of coloured nets for peach tree protected cultivation. *Belgirate*. 22- 24.
- Smith, S.; Jakobsen, I.; Gronlund, M. y Smith, A. Roles of arbuscular mycorrhizal in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology* 156(3):1050-1057.
- Stamps, R.H. (2009) Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience*, 44: 239-241.
- Tang, H., Y. Y. Hu, W. W. Yu, L. L. Song and J. S. Wu. 2015. Growth, photosynthetic and physiological responses of *Torreya grandis* seedlings to varied light environments. *Trees*. 29(4): 1011-1022.
- Vera-Guzmán, A.M., J.L. Chávez-Servia, J.C. Carrillo-Rodríguez y M.G. López (2011). Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71:578-585.
- Villalón M. H; Garza O. F; Sánchez H. O; Soto R. J. M; López de L. R; Medina M. T; Ramírez M. M; Montes H.S. (2007). Chile silvestre “piquín” (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare* Dierb.) y su impacto socioeconómico en la región de Linares, N, L., México 398 p.
- Walker, C. (2005). A simple blue staining technique for arbuscular mycorrhizal and other root-inhabiting fungi. *Inoculum*. 56: 68-69.
- Zewdie Y. & Bosland P. W. (2000). Evaluation of genotype, environment, and genotype y environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica*. 111:185-90.
- Zhu, J.J., Peng, Q., Liang, Y. L., Wu, X., Hao, WL. (2012). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. *Journal of Integrative Agriculture* 11, 927-937.



## ANEXOS

## a) Interacciones

Interacción entre los factores evaluados en el rendimiento (g planta<sup>1</sup>)  
obtenido.

|           | CA            | INV           | MN           | MR         | MA            | MB         |
|-----------|---------------|---------------|--------------|------------|---------------|------------|
| RTZ CONGL | 14.16pqrst    | 26.30jk       | 69.62c       | 54.46e     | 93.11b        | 132.45a    |
| RTZ TEST  | 10.80tu       | 17.90mno      | 49.22f       | 34.20hi    | 45.10g        | 58.38d     |
| PTZ CONGL | 3.28yzABCDE   | 21.49lm       | 5.95wxyzAB   | 18.16mn    | 5.47wxyzABCD  | 25.59jk    |
| PTZ TEST  | 2.17CDE       | 14.35opqrst   | 3.59xyzABCDE | 10.84stu   | 4.59wxyzABCDE | 11.42stu   |
| SAC CONGL | 5.68wxyzABC   | 4.64wxyzABCDE | 2.00DE       | 6.98wx     | 5.96wxyzAB    | 32.63hi    |
| SAC TEST  | 3.44xyzABCDE  | 3.80xyzABCDE  | 1.64E        | 2.63ABCDE  | 2.51BCDE      | 13.14qrst  |
| MZC CONGL | 7.94uw        | 16.75nopq     | 28.03j       | 25.54jk    | 66.65c        | 52.75ef    |
| MZC TEST  | 6.94wxy       | 14.01pqrst    | 14.48opqrs   | 12.26rst   | 31.83i        | 35.74h     |
| LNL CONGL | 2.46BCDE      | 17.04nop      | 15.30nopqr   | 11.08stu   | 6.57wxyz      | 34.37hi    |
| LNL TEST  | 2.65ABCDE     | 13.49pqrst    | 6.21wxyzA    | 15.15nopqr | 2.90zABCDE    | 15.95nopq  |
| SNL CONGL | 4.36wxyzABCDE | 16.51nopq     | 3.40xyzABCDE | 11.17stu   | 5.14wxyzABCDE | 23.10kl    |
| SNL TEST  | 2.14CDE       | 11.33stu      | 2.35BCDE     | 14.48opqrs | 3.74xyzABCDE  | 13.48pqrst |

## **b) Artículo**

### **Comportamiento agronómico de ecotipos de chile piquín bajo cubiertas fotoselectivas**

#### **Ecotipos de chile piquín bajo cubiertas fotoselectivas**

José Rafael Paredes-Jácome<sup>1</sup>

Rosalinda Mendoza-Villarreal<sup>2\*</sup>

Miguel Ángel Perez-Rodriguez<sup>2</sup>

Valentin Robledo-Torres<sup>3</sup>

Sergio Moreno-Limón<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro, 1923. Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro, 1923. Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México. Correo-e: rosalindamendoza@hotmail.com, tel.: 844 160 77 23 (\*Autor para correspondencia).

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica, Calzada Antonio Narro, 1923. Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455, México.

### **Resumen**

El uso de malla sombra de colores e invernadero es una estrategia para mejorar el aprovechamiento de la radiación y regular la temperatura, además de incrementar la productividad en los cultivos hortícolas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del uso de mallas (roja, blanca, azul y negra) y de polietileno (invernadero), en seis ecotipos de chile piquín silvestre, recolectados en la región noreste de México. Las variables microclimáticas y radiación fotosintéticamente activa (RFA) se midieron desde el trasplante de la planta, las variables agronómicas se midieron a los 40 días después del trasplante (inicio de floración) hasta el último corte del ciclo (160 días). La temperatura, humedad relativa y (RFA) se vieron afectadas con el uso de las diferentes cubiertas, la malla azul redujo un 50.10 % la RFA, en contraste con la percibida en campo abierto. En

cuanto al uso de cubiertas, el análisis de componentes principales (ACP) reveló la agrupación de las plantas cultivadas en campo abierto con los menores resultados en las variables evaluadas, mientras que en ecotipos, RTZ reveló mayor tendencia hacia el cuadrante 1 con la mayoría de las variables. El rendimiento en la malla sombra de color blanco, se incrementó un 823.1 y 1,290.9 % en comparación con el obtenido bajo la malla negra y el testigo (sin cubierta). De acuerdo con los resultados obtenidos, la malla blanca favoreció el desarrollo de los ecotipos, siendo el RTZ el que mejor se comportó bajo esta cubierta, por lo que se consideran una oportunidad viable para la preservación y producción a gran escala de este recurso fitogenético.

### **Contenido sobresaliente:**

Se evaluaron seis ecotipos de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* bajo diferentes cubiertas para simular el hábitat natural

Se evaluó la respuesta de cada ecotipo a las variables ambientales y agronómicas provocadas por las cubiertas de colores.

La malla blanca aumentó 93.3 % el rendimiento en comparación a la producción sin cubierta.

Las mallas plásticas promueven la producción y el desarrollo de los ecotipos silvestres de chile piquín.

### **Highlights:**

Six ecotypes of *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* were evaluated under different covers to simulate the natural habitat.

The response of each ecotype to the environmental and agronomic variables caused by the covers was evaluated.

The white mesh increased 93.3 % the yield in comparison to the production without cover.

The plastic meshes promote the production and development of the wild ecotypes of piquín chili.

**Palabras clave:** malla sombra, rendimiento, *Capsicum annuum*.

### Introducción

El chile piquín es una de las especies silvestres de gran importancia desde el punto de vista económico y alimenticio, su preferencia es debida a su agradable sabor y picor, comparado con el de otros chiles como serrano y jalapeño (Villalón et al., 2014). Esta planta se encuentra distribuida en forma silvestre a lo largo de la República Mexicana y en el sur de los Estados Unidos de América, lo que muestra una amplia adaptabilidad ambiental, probablemente asociada con su diversidad genética. De acuerdo con su naturaleza predominantemente silvestre, los frutos se obtienen por recolección en poblaciones silvestres y no de plantaciones comerciales, disminuyendo así las poblaciones naturales, por lo que esta actividad amenaza la diversidad genética de esta especie (Rueda et al., 2010).

Las condiciones ambientales modifican la fenología de las plantas de chile piquín, las poblaciones silvestres son perennes y comúnmente se asocian con condiciones parcialmente sombreadas en el sotobosque de los árboles. Cuando se cultivan a pleno sol, las plantas de chile piquín se pueden considerar cultivos anuales ya que la congelación, enfermedades y susceptibilidad de las plagas limitan el ciclo productivo (Rodríguez et al., 2003).

El clima ha tenido cambios importantes en las temperaturas, precipitación, salinidad entre otros (Conde y Saldaña, 2007), y para mitigar dichos efectos se pueden utilizar mallas sombra o cubiertas plásticas, que además de generar cierta cantidad de sombreado, simulan su hábitat silvestre y propician el desarrollo normal de la planta, en comparación con la producción a campo abierto, incrementando el rendimiento y la calidad del fruto (Ayala et al., 2011).

Las plantas que no están adaptadas a la luz solar intensa pueden desarrollar estrés por calor, la mayoría de estos efectos negativos pueden evitarse, con la protección de invernadero o cuando se emplean estructuras de sombreado (Castronuovo et al., 2017).

Con el interés de preservar esta especie e incrementar su producción comercial, se utilizan sistemas de producción protegida como una alternativa viable para la producción de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* (Kitta et al., 2014). Las plantas cultivadas que crecen bajo sombra sufren cambios morfológicos como mecanismos de adaptación a la baja disponibilidad de luz; esta adaptación incluye cambios en el índice de área foliar, mejor distribución del área foliar en altura, temperatura y humedad relativa que pueden tener efectos sobre las respuestas productivas y fisiológicas de la planta (Li et al., 2012).

Las mallas fotoselectivas de uso agrícola filtran la radiación solar interceptada (Shahak et al., 2008) además de estar diseñadas para detectar varias bandas espectrales de la radiación solar, y/o transformar la luz directa a luz dispersa.

Los cambios en la luz espectral promueven diferentes respuestas morfogénicas y fotosintéticas (Fu et al., 2012). Cada red de plástico modifica la radiación solar que llega al cultivo, reduciendo el flujo de luz y variando el espectro radiante disponible. Además de la estructura de la red, el espectro de la transmitancia también está influenciado por el diámetro del hilo, el color y el grosor de la red, y las propiedades de absorbancia, transmitancia y reflectancia del material plástico (Sica y Oicuno, 2008).

Con base en lo anterior, el estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes cubiertas fotoselectivas sobre variables agronómicas en ecotipos de chile piquín silvestre.

### **Materiales y métodos**

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano 2016 en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila a 25° 35' 63" LN y 101° 03' 49" LO, con altitud de 1581 msnm. Se utilizaron semillas de chile piquín silvestre, recolectadas en el estado de Zacatecas, Nuevo León y Coahuila durante octubre y noviembre del año 2015 en la Región Noreste de México (Cuadro 1).

Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, tratadas previamente con 500 ppm de ácido giberélico (Biogib ®), con el fin de romper la testa y obtener mayor germinación; como sustrato se utilizó turba de sphagnum (Pro Mix ®) y

perlita (Hortiperl ®) en una proporción 2:1 v/v. Las primeras plantas comenzaron a emerger a los 25 y 38 días, cuando las plántulas alcanzaron 15 cm de altura se trasplantaron en bolsas de polietileno con capacidad de 10 L, y se colocaron a una distancia de 40 cm entre plantas y 1.0 m entre surcos, (densidad de plantación de 20,750 plantas ha<sup>-1</sup>).

Se establecieron 36 tratamientos, de los cuales seis fueron los ecotipos de 3 regiones (Coahuila, Zacatecas y Nuevo León) y seis cubiertas, con cuatro repeticiones por tratamiento, teniendo 144 plantas como parcela útil.

El cultivo se desarrolló en macro túneles con malla raschel con 30 % de sombreo, con un tamaño de orificio de 6 x 8 mm; cada túnel de 4 m de ancho, 6 m de largo y 2.30 m de alto, y un macrotúnel cubierto con polietileno blanco lechoso con 20 % de sombra, mientras que la producción en campo abierto tuvo el 100% la transmisión de luz. Se utilizó Solución Nutritiva Steiner al 25 % en plántula, al 50 % en desarrollo vegetativo, 75 % en floración y 100 % en fructificación (1976), un aporte de agua de 0.50 a 2.50 L planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, con un sistema de fertirriego por estacas.

Las variables microclimáticas registradas fueron temperatura ambiental y humedad relativa con un termo higrómetro digital (Taylor®, modelo 1452). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se registró con un sensor portátil Quantum (Apogee®, modelo SM-700). Las mediciones se realizaron entre las 07:00 y 19:00 h, en el centro de cada macrotúnel, en condiciones de cielo despejado.

Se evaluaron las variables morfológicas de: altura de planta (AP) y longitud de entrenudos (DEN) con cinta métrica. El grosor basal de tallo (GBT), y diámetro de fruto (DDF) con un vernier digital (Digital Caliper®), para el rendimiento promedio de fruto (RPP) se estimó mediante el peso de frutos por planta, con una báscula electrónica Rhino modelo BABOL-100G con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g. También se cuantificó el número de frutos por planta (NFRPP), número de semillas (NS) y días a floración (DAF).

Para este estudio se utilizó un diseño experimental con arreglo en parcelas divididas; en donde la parcela grande incluye las cubiertas y la parcela chica a los ecotipos (Cuadro 2).

La comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se realizó con el programa estadístico SAS (SAS Institute 2004). El análisis de componentes principales y las gráficas biplot se llevaron a cabo usando la función `prcomp` en R versión 3.4.3.

## **Resultados y discusión**

### **Efecto de las mallas en el ambiente del cultivo**

La RFA, la temperatura ambiental y la humedad relativa fueron diferentes en cada cubierta con respecto a campo abierto. Solo las mediciones a campo abierto y bajo invernadero superaron los  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 1) y hubo reducciones de entre 43 y 50 % de la RFA en las diferentes cubiertas con respecto a la presentada en campo abierto (Cuadro 3).

De acuerdo con Retamales et al. (2008), en el cultivo de arándano ha demostrado que la RFA transmitida por mallas de color blanco y rojo con 35 %, y la malla gris con 50 % de sombra, redujeron la RFA hasta un 29 %, mientras que las mallas de color rojo, con 50% de sombra y malla negra con 35% sombra, disminuyeron la RFA en 41 y 47 %, respectivamente, en comparación al campo abierto.

Por lo cual el uso de mallas sombra resulta relevante para disminuir el impacto de la alta intensidad de luz en condiciones de campo abierto y transforma la radiación directa en dispersa lo cual permite que la luz penetre en el dosel interno de la planta previniendo quemaduras y dando un moderado efecto de enfriamiento (Ilic et al., 2017).

La RFA por encima de los  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tiene un efecto directo en la tasa de fotosíntesis, afectando negativamente la productividad, el crecimiento y rendimiento, (Kitta et al., 2014). Bajo cualquier cubierta que se coloque sobre las plantas, los elementos climáticos: radiación solar, temperatura, y humedad relativa, se modifican, alterando el metabolismo y consumo de agua de las plantas, lo cual repercute positivamente en el rendimiento y calidad del fruto (Tanny, 2012).

Además de los efectos sobre la intensidad de la luz y la calidad de la luz (Shahak, 2014), las redes de sombra pueden modificar variables ambientales como la temperatura, la velocidad del viento o la humedad relativa dentro del dosel (Arthurs et al., 2013).

En nuestro estudio solo a campo abierto y bajo invernadero se registraron índices máximos de RFA superiores a los  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  lo cual ocurrió de manera consistente entre las 13:00 y 15:00 h, mientras que en las mallas de colores se registraron índices máximos de RFA entre 500 y  $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , dichos máximos también se registraron entre las 12:00 y las 15:00 h; consistentemente entre los tres tipos de malla, la de color rojo fue la que registró los mayores índices RFA y la malla azul los menores; otro hecho notable es que la disminución (caída) del RFA se produce a mayores tasas en campo abierto e invernadero y a tasas menores en las mallas sombra, por lo que se puede considerar que en invernadero y campo abierto los cambios son más bruscos que en el caso de las mallas donde puede verse un efecto de amortiguamiento de los cambios de RFA conforme avanza la tarde (Figura 1).

La temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante en la conductancia estomática foliar, por lo tanto, en la tasa de transpiración y la fotosíntesis de la planta de acuerdo con (Righi et al., 2012).

### **Efecto de las mallas sobre el cultivo**

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre cubiertas en todas las variables de crecimiento estudiadas (Cuadro 4). Al evaluar las cubiertas, las plantas cultivadas en malla blanca presentaron la mayor diferencia estadística en siete de nueve variables estudiadas (AP, DT, REN, NFFP, DDF, NS Y NH), las plantas cultivadas en malla color azul presentaron los mejores valores en cuatro de las variables analizadas (DAF, DDF, NS Y DEN) por lo que puede considerarse la segunda mejor cubierta para cultivo de chile piquín (Cuadro 5).

Las plantas cultivadas a campo abierto tuvieron menor respuesta estadística en 8 de las nueve variables estudiadas (excepto en diámetro del tallo), también resulta interesante que las plantas cultivadas bajo malla de color negro mostraron los valores más bajos en cuatro de las variables estudiadas (DT, REND, NFFPP y DDF) lo cual apoya la necesidad de la búsqueda de las mejores condiciones para el desarrollo de este cultivo, mediante el uso de mallas que proporcionen los rangos óptimos en las variables microclimáticas. .



En la malla blanca se produjo un mayor número de frutos y rendimiento por planta con 374.61 % y 1,290.90 % respectivamente, en comparación la producción a campo abierto (Cuadro 5). Así mismo los frutos cultivados bajo malla blanca y malla azul produjeron los mayores diámetros superando en 236.18 y 266.88 % respectivamente a los obtenidos en campo abierto y en número de semillas en 314.50 y 294.33 % con respecto a los de campo abierto.

La disminución en la disponibilidad de RFA puede inducir respuestas morfogénicas, las cuales incrementan el área foliar, alargamiento del vástago y entrenudos, y el índice de área foliar, debido a que las células se expanden más con bajas intensidades de luz, para captar la luz y llevar a cabo la fotosíntesis. Respuestas asociadas con el fenómeno conocido como "evitación de la sombra" cuya respuesta está regulada por actividad fitocromática que regula el alargamiento del tallo, al transformar plastidios no fotosintéticos (etioplastos), a cloroplastos completamente desarrollados con función fotosintética, y el área foliar con los consiguientes efectos sobre el reparto de fotoasimilación y el crecimiento del fruto (Bastías et al., 2012).

En nuestro estudio las mallas e invernadero propiciaron un incremento en la altura final de las plantas de chile piquín (Cuadro 5), probablemente en respuesta a la reducción de la luz (Salisbury y Ross, 2000). Estudios realizados en mallas de color reportan que la altura de la planta se ve afectada por el color de la malla, en pimiento morrón la mayor altura se obtiene en mallas azules (Ayala et al., 2014); y en albahaca en malla negra (Martínez et al., 2016).

Previamente se ha demostrado que la radiación es uno de los factores capaces de producir mayor actividad fotosintética en las plantas, la calidad de luz, o la distribución del espectro de luz, puede influir en la longitud del entrenudo y desarrollo de la floración. (Runkle et al., 2006). Dicho efecto sobresalió en las mallas blanca y azul, donde registraron un aumento en altura de 114.05 y 91.53 % respectivamente en comparación al campo abierto. La malla blanca incrementó un 34.1 % el diámetro de tallo, en contraste con la malla negra donde se obtuvo el menor resultado, esto coincide con lo reportado por (Ayala et al., 2011) quien reporta que la malla sombra de color incrementó el grosor del tallo en el cultivo de tomate.

El análisis de componentes principales (ACP) reveló una agrupación de las plantas cultivadas en el segundo cuadrante (Figura 2), lo cual indica que tales plantas mostraron bajas alturas, número de flores, número de frutos, menor diámetro de frutos y mayor número de días para florear (CP1), mayor grosor basal de tallo, mayor peso del fruto y menor número de semillas (CP2) dada la relevancia de esas variables para cada uno de los componentes (Cuadro 6), sin embargo de modo general los materiales se comportaron de modo disperso en las condiciones que se probaron en este estudio lo cual revela que el ecotipo jugó un papel determinante en las variables analizadas.

Díaz-Pérez, (2014) encontró un incremento el número y tamaño de frutos en pimiento morrón, bajo condiciones de sombreado. Por su parte (Shahak et al., 2008) evaluaron mallas de colores “raschel” rojo, amarillo y perla con 30 a 40 % de sombra, obteniendo rendimientos en pimiento de 115 a 135 % más altos que los obtenidos en malla negra y campo abierto. Mientras que Ayala et al., (2014) no encontraron diferencias significativas en el número de frutos por planta en pimiento, utilizando diferentes mallas de colores y producción sin malla.

Un mayor diámetro de tallo permite a la planta tener mejor desarrollado de su sistema vascular, mediante el cual conduce el agua y los nutrimentos, con lo que se mejoran los procesos fisiológicos (Bahena et al., 2012).

### **Efecto de los ecotipos**

Todas las variables de crecimiento mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ), entre los diferentes ecotipos analizados (Cuadro 4). El ecotipo RTZ tuvo el mejor desempeño en ocho de las nueve variables analizadas (AP, DT, DAF, REND, NFFPP, DDF, NS y DEN), y el ecotipo SAC tuvo el peor desempeño en casi todas las variables.

El ACP no reveló agrupaciones concretas de los ecotipos, lo cual sustenta la idea que el ambiente también juega un papel relevante en la dispersión de los datos, sin embargo, fue posible notar algunas tendencias como por ejemplo que el ecotipo RTZ se agrupó en mayor medida en el cuadrante 1 (Figura 3), lo cual indica que esas plantas tuvieron un mejor desempeño en cuanto a DF, NF, NFRPP, AP y GBT.

Cabe mencionar que el ecotipo SAC, el cual tuvo el peor desempeño en la mayoría de las variables, proviene de San Alberto Coahuila, dicha comunidad se ubica a una altitud de 365 msnm la cual es mucho menor que la del lugar donde se estableció el experimento (1580 msnm), por otra parte, el ecotipo RTZ, fue el que tuvo el mejor desempeño en la mayoría de las variables, proviene de Rio Tuxpan, Zac., que está ubicado a una altitud de 2060 msnm, el cual posiblemente se haya adaptado a las condiciones del experimento.

El ecotipo RTZ tuvo una altura 46.5 % mayor y un 34.5 % mayor diámetro de tallo en comparación al ecotipo SAC (Cuadro 5). Martínez et al. (2010) recolectaron especies silvestres de *Capsicum annuum* en altitudes de los 940 a 1600 msnm, y las evaluaron a una altitud de 2247 msnm, los cuales no encontraron diferencias significativas en las variables altura de planta, diámetro de tallo, número de frutos por planta y tamaño de estos, en los grupos de especies evaluados.

El ecotipo RTZ presentó mayor precocidad (días a floración), 14 días antes que el ecotipo LNL, el cual fue más tardío, además tuvo 95 % más frutos por planta en comparación con el mismo ecotipo (Cuadro 5). La malla azul aumenta la precocidad a floración, con un adelanto de 18 días respecto al campo abierto. De igual forma, el ecotipo RTZ incrementó un 27.38 % más en la longitud de entrenudos en comparación con el ecotipo SAC; mientras que la mejor cubierta fue la malla azul siendo un 62.81 % mayor que la producción sin cubierta en la misma variable.

El rendimiento, tamaño y calidad en *Capsicum* provocado por el efecto de sombreado, depende en gran medida del área geográfica y tecnología de los cultivos (Zhu et al., 2012). Los ecotipos RTZ y MZC presentaron un diámetro de fruto entre 40.59 y 20.48% respectivamente (Cuadro 5), así en número de semillas obtuvieron un incremento de 46.51 y 46.04% respectivamente, en comparación con la producción en campo abierto. A su vez (Salinas et al., 2010) obtuvieron mayor longitud, diámetro y número de semillas por fruto, en dos tipos de chile amashito silvestre “Pico de paloma” y “Garbanzo” respectivamente, en comparación con los demás tipos de chile evaluados.

Santos y Salame-Donoso, (2012) encontraron que en arándano (*Vaccinium oxycoccus*) bajo un túnel con 35% de sombreado, se tuvo incremento de la floración, mayor peso del fruto y rendimiento que bajo condiciones de cielo abierto. Nooryazdan et al. (2010)

reportaron que la diferenciación en características morfológicas al evaluar 77 poblaciones de *Helianthus annuus* silvestre, colectadas en Estados Unidos, se correlacionaron con las variables climáticas de los sitios de origen de las poblaciones, lo cual sugiere adaptación a las condiciones locales de las especies evaluadas.

### **Efecto de la interacción**

El análisis de varianza de dos vías reveló que la interacción entre las cubiertas utilizadas y los ecotipos originan diferencias significativas en todas las variables, lo cual coincide con Hernández et al. (2015) quien reporta diferencias significativas en todas las características fenotípicas evaluadas en chile silvestre bajo diferentes niveles de sombra; en términos generales podemos señalar que el uso de malla sombra de color blanco proporciona una mejora en las variables analizadas en todos los ecotipos, así como el ecotipo RTZ obtiene los mejores resultados en todas las cubiertas utilizadas.

En análisis de los vectores que representan las variables en el biplot reveló que cierto grupo de variables presentaron alta correlación entre si GBT, NFL, REND, AP y NFRPP, resultados similares reportan Meena y Bahadur, (2015) en altura de planta, número de flores y número de frutos por planta, así como Ogwulumba y Ugwuoke, (2013) para el número de hojas por planta y el número de frutos por planta; por otro lado las variables DF, DEN, NS y NH formaron otro grupo de variables que tienen alta correlación entre ellas, y poca correlación con las variables del grupo anterior.

Así mismo Meena y Bahadur, (2015) indican que la altura de la planta mostró una correlación negativa significativa con el peso del fruto y el diámetro polar de la fruta, lo que revela que a mayor altura de planta el peso y diámetro de los frutos disminuyen; por otro lado, la variable DAF presentó una correlación negativa con todas las variables indicando que entre mayor número de días a floración el desempeño en las otras variables sería menor.

Así mismo el análisis biplot reveló que todas las variables excepto DAF están relacionadas positivamente con los cultivos en malla blanca o bien en malla azul (figura 2) es decir que los cultivos bajo esas cubiertas tuvieron los mejores resultados en esas variables. En

cuanto a los ecotipos, el RTZ se relacionó de modo positivo con las variables GBT, NFL, REND, AP y NFRPP (Figura 3).

La variable DAF en cielo abierto e invernadero (Figura 2), revela que las plantas tardan más en presentar flores y un desempeño menor en el resto de las variables, lo mismo sucedió en todos los ecotipos cuando se cultivaron a cielo abierto (Figura 3).

### **Conclusiones**

El uso de cubiertas redujo la radiación fotosintéticamente activa (RFA), lo que tuvo un efecto positivo en la morfología de las plantas. La malla de color blanco y color azul, incrementaron rendimiento, número de frutos y el tamaño de estos. Mientras que el ecotipo RTZ, fue superior en todas las variables estudiadas. La malla de color blanco y el ecotipo RTZ fueron los que mejoraron los caracteres agronómicos y el rendimiento en chile piquín, por lo que se considera una alternativa para la producción de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* en altitud de 1580 msnm.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y a la Secretaría de Educación Pública (SEP) a través del PRODEP por su apoyo brindado en el financiamiento de este proyecto.

### **Referencias**

Arthurs, S. P., Stamps, R. H., & Giglia, F. F., (2013). Environmental modification inside photoselective shade houses. *HortScience* 48, 975–979.

Obtenido de <http://hortsci.ashspublications.org/content/48/8/975.full.pdf>

Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M., Ruiz-Espinosa, F., Velázquez Alcaraz, T., ... & Parra-Delgado, J. (2015). Producción de

pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (1), 93-99. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61035375012>

Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T., Díaz-Valdés, T., & Osuna-Sánchez, J. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29 (4), 403-410. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322342006>

Bahena-Delgado, G., Bustos-Rangel, A. J., Broa-Rojas, E., & Jaime-Hernández, M. A. (2012). Agronomic behavior of creole chili (*Capsicum annuum* L.) in fertirrigation with plastic mulch and row cover in Xalostoc, Morelos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 4 (1), 19-24. doi: 10.5154/r.inagbi.2011.11.11014

Bastias, R. M., Manfrini, L., & Grappadelli, L. C. (2012). Exploring the potential use of the pphoto-selective nets for fruit growth regulation in apple. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72 (2), 224-231. Obtenido de: <https://www.researchgate.net/publication/236214269>

Castronuovo, D., Statuto, D., Muro, N., Picuno, P., & Candido, V., (2017). The use of shading nets for the greenhouse cultivation of sweet pepper in the Mediterranean área. *Acta Horticulturae 1170*, 373-380. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1170.46.

Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. O., (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y Desarrollo* 23, 23-30. Obtenido de: <http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Economia-Desarrollo/39.pdf>

Díaz-Pérez, J. C., (2014). Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: Fruit yield, quality, and postharvest attributes and incidence of Phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortScience* 49, 891–900. Obtenido de: <http://hortsci.ashspublications.org/content/49/7/891.full.pdf>

Fu, W., Li, P., & Wu, Y. (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae* 135, 45–51. doi: 10.1016/j.scienta.2011.12.004

Fu, Y., Li, H.Y., Yu, J., Liu, H., Cao, Z.Y., Manukovsky, N.S., & Liu, H. (2017). Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth photosynthetic

characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. youmaicai). *Scientia Horticulturae* 214, 51–57. doi: 10.1016/j.scienta.2016.11.020

Hernández-Verdugo, S., González-Sánchez, R. A., Porras, F., Parra-Terraza, S., Valdez-Ortiz, A., Pacheco-Olvera, A., & López-España, R. G. (2015). Phenotypic plasticity of populations of wild chile (*Capsicum annuum* var. glabriusculum) in response to light availability. *Botanical Sciences*, 93 (2), 231-240. doi: 10.17129/botsoci.237

Ilic, S. Z., Milenkovic, L., Dimitrijevic, A., Stanojevic, L., Cvetkovic, D., Kevresan, Z., Fallik, E., & Mastilovic, J. (2017). Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. *Scientia Horticulturae* 226, 389-397. doi: 10.1016/j.scienta.2017.09.009

Kitta, E., Katsoulas, N., Kandila, A., González-Real M. M., & Baille, A. (2014). Photosynthetic acclimation of sweet pepper plants to greenhouse conditions. *HortScience* 49, 166-172. Obtenido de: <http://hortsci.ashspublications.org/content/49/2/166.full.pdf>

Li, X., Chen, W., & Li, Y. (2012). Study on photosynthetic characteristics of blueberry in greenhouse. *Acta Horticulturae*: 926, 315-320. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.926.43

Martínez-Gutiérrez, G., & Nicolás-Santana, L., & Ortiz-Hernández, Y., & Morales, I., & Gutiérrez-Hernández, G. (2016). Crecimiento y contenido de aceite en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo mallas sombra de colores. *Interciencia*, 41 (6), 428-432. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33945816010>

Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J. E., & Moreno Pérez, E. C. (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16 (3), 169-176. Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2010000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000300004&lng=es&tlng=es)

Meena-Prakash, O., & Bahadur, V., (2015) Genetic associations analysis for fruit yield and its contributing traits of indeterminate tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm under open field condition. *Journal of Agricultural Science*, 7 (3), 148-164. doi: 10.5539/jas.v7n3p148

Nooryazdan, H., Serieys, H., Bacilieri, R., David, J., & Bervillé, A. (2010). Structure of wild annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions based on agro-morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57, 27-39. doi: 10.1007/s10722-009-94489

Ogwulumba, S. I., & Ugwuoke, K. I. (2013). Coefficient and path analyses of the impact of root galls caused by *Meloidogyne javanica* on some growth and yield parameters of tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Journal of Plant and Soil Science*, 2 (2), 222-229. doi: <http://dx.doi.org/10.9734/IJPSS/2013/3510>

Retamales, J. B., Montecino, J. M., Lobos, G. A., & Rojas, L. A., (2008). Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta horticultura 770*, 193-197. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.770.22

Righi, E. Z., Buriol, G. A., Angelocci, L. R., Heldwein, A. B., & Tazzo, I. F. (2012). Relationships of photosynthetic photon flux density, air temperature and humidity with tomato leaf diffusive conductance and temperature. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55 (3), 359-370. doi: 10.1590/S1516-8913201200030000

Rodríguez-del-Bosque, L.A., Pozo-Campodónico, O., Ramírez-Meraz, M., Silva-Cavazos, F. J., Zúñiga-Estrada, R., Sánchez-de-la-Cruz, R. ... & Villalón-Mendoza, H. (2003). Efecto del sombreado sobre el desarrollo y rendimiento de 10 colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) en 4 localidades del noreste de México. *INIFAP Publicación Especial* 26, 32-34. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3482/1773%201er%20Simposio%20de%20Chile%20Piqu%C3%ADn%2C%20Memoria.pdf?sequence1>

Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Castellanos-Cervantes, T., García-Hernández, J. L., Tarazòn-Herrera, M. A., Moreno-Medina, S., & Gerlach-Barrera, L. E. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria and mycorrhizal on *Capsicum annuum* L. var. *aviculare* ([Dierbach] D'Arcy and Eshbaugh) germination under stressing abiotic conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(8), 724-730. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.04.002

Runkle, E. S. & Heins, R. D. (2006). Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Horticulturae 771*, 51-60. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.711.4



Salinas-Hernández, R., Liévano-Liévano, E., Ulín-Montejo, F., Mercado, J., & Petit-Jiménez, D. (2010). Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*Capsicum annuum* L.) variedad glabriusculum (Dunal) Heiser & Pickersgill. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11 (1), 92-100. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093012>

Salisbury, F., & Ross, F. (2000). Fisiología de las Plantas: Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Thompson Editores Spain Paraninfo, S. A. España. 947 p.

Santos, B. M., & Salame-Donoso, T. P. (2012). Performance of southern highbush blueberry cultivars under high tunnels in Florida. *HortTechnology* 22(5), 700-704. Obtenido en: <http://horttech.ashspublications.org/content/22/5/700.full.pdf>

Sica, C., & Picuno, P. (2008). Spectro-radiometrical characterization of plastic nets for protected cultivation. *Acta Horticulturae* 801, 245–252 doi: 10.17660/ActaHortic.2008.801.23.

Shahak, Y., Gal, E., Offir Y., Ben-Yakir, D. (2008). Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae* 797, 75-80. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.797.8

Shahak, Y. (2014). Photosensitive netting: An overview of the concept, R & D and practical implementation in agriculture. *Acta Horticulturae* 1015, 155-162. doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1015.17

Steiner, A. A. (1973). The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. In: Proceedings 3rd International Congress on Soils Culture. Wageningen. The Netherlands. 43-53 pp.

Tanny, J. (2012). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering* 114, 26-43. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008

Villalón-Mendoza, H., Medina-Martinez, T., Ramírez-Meraz, M., Solis-Urbina, S. E., & Maiti, R. (2014). Factors influencing the price of chile piquin wild chili (*Capsicum annuum* L. var. *Glabriusculum*) of North-east Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 5(1), 128-131. doi: 10.5958/j.0976-4038.5.1.025

Zhu, J.J., Peng, Q., Liang, Y. L., Wu, X., Hao, WL. (2012). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. *Journal of Integrative Agriculture* 11, 927-937. doi: 10.1016/S2095-3119(12)60083-5

**Cuadro 1.** Ecotipos de chile piquín silvestre recolectados y ubicación.

|   | Abre* | Localidad-Estado         | Altitud<br>(msnm) | Coordenadas de recolección         |
|---|-------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | RTZ   | Rio Tuxpan, Zac.         | 2060              | 22° 39' 10.5" LN 102° 42' 16.2" LO |
| 2 | PTZ   | Puente Tepetatilla, Zac. | 1888              | 22° 47' 14.1" LN 103° 35' 11.4" LO |
| 3 | MZC   | Muzquiz, Coah.           | 499               | 28° 00' 02.9" LN 101° 44' 45.8" LO |
| 4 | SAC   | San Alberto, Coah.       | 365               | 27° 42' 83.1" LN 101° 38' 16.1" LO |
| 5 | SNL   | Santiago, N. L.          | 480               | 25° 23' 53.7" LN 100° 06' 22.8" LO |
| 6 | LNL   | Linares, N. L.           | 356               | 24° 50' 14.5" LN 99° 35' 21.8" LO  |

\*Abre= abreviación

**Cuadro 2.** Descripción de factores evaluados.

|                            |                             |                                     |                           |                               |                          |                           |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Parcela chica (Ecotipos)   | RTZ:<br>Rio Tuxpan,<br>Zac. | PTZ:<br>Puente Tepetatilla,<br>Zac. | MZC:<br>Muzquiz,<br>Coah. | SAC:<br>San Alberto,<br>Coah. | LNL:<br>Linares,<br>N.L. | SNL:<br>Santiago,<br>N.L. |
| Parcela grande (Cubiertas) | CA:<br>Campo abierto        | INV:<br>Invernadero                 | MN:<br>Malla negra        | MR:<br>Malla roja             | MA:<br>Malla azul        | MB:<br>Malla blanca       |

**Cuadro 3.** Valores promedio de la radiación y temperatura registradas durante el ciclo de producción de chile piquín bajo los diferentes ambientes

| Ambiente      | Reducción de              |                  |         |
|---------------|---------------------------|------------------|---------|
|               | RFA respecto a<br>CA* (%) | Temperatura (°C) | HR* (%) |
| Malla roja    | 43.59                     | 31.23b           | 31.84c  |
| Malla azul    | 50.10                     | 30.18d           | 33.36a  |
| Malla blanca  | 49.14                     | 30.01d           | 32.83b  |
| Malla negra   | 48.86                     | 29.07e           | 32.96b  |
| Invernadero   | 7.16                      | 31.68b           | 31.63d  |
| Campo abierto | 0                         | 33.94a           | 32.72b  |

\*CA: Campo abierto, \*HR: Humedad relativa

**Cuadro 4.** Cuadrados medios del análisis de varianza realizado a variables de los diferentes ecotipos de chile piquín desarrollados bajo diferentes cubiertas.

| Fuente de variación  | GL | AP       | GBT    | DAF      | NFPP     | REND    | DDF     | NS      | DEN     | NH         |
|----------------------|----|----------|--------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Cubierta             | 5  | 1192.4** | 12.3** | 1001.7** | 720.6**  | 103.8** | 154.5** | 548.4** | 432.6** | 162629.7** |
| Ecotipo              | 5  | 1333.4** | 14.9** | 633.0**  | 5328.7** | 312.4** | 58.0**  | 125.2** | 40.0**  | 23717.3**  |
| Cubierta*<br>ecotipo | 25 | 104.1**  | 2.1**  | 68.2**   | 383.0*   | 84.3**  | 4.4**   | 6.1**   | 4.1**   | 5035.7**   |
| CV                   |    | 5.29     | 3.08   | 2.75     | 8.50     | 16.94   | 1.87    | 7.55    | 8.15    | 6.42       |

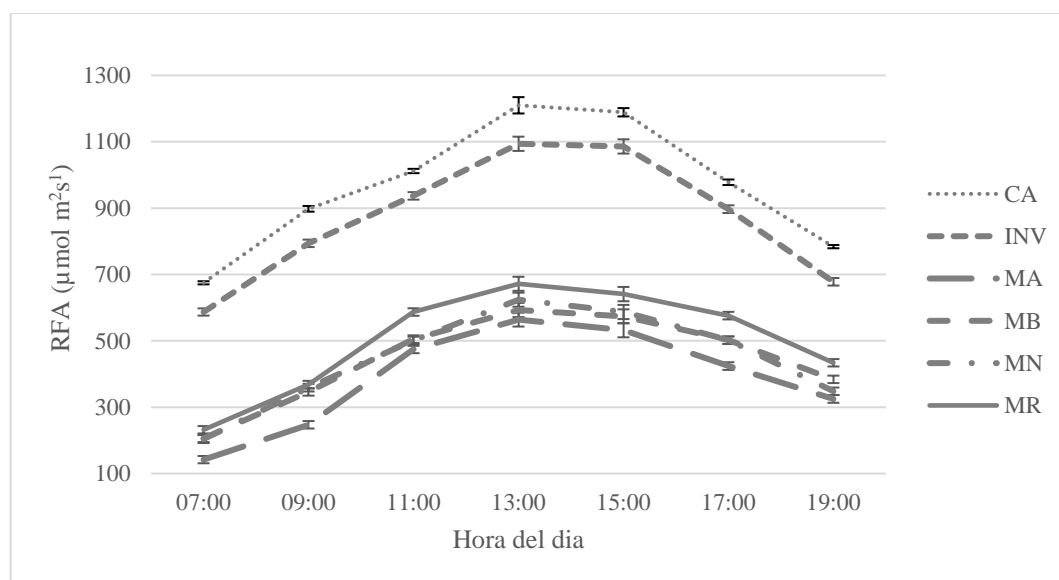
CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; \* significancia estadística ( $P \leq 0.01$ ); \*\* significancia estadística ( $P \leq 0.01$ ); AP: altura de planta; GBT: grosor basal de tallo; DAF: días a floración; NFPP: número de frutos por planta; REND: rendimiento; DDF: diámetro de fruto, NS: número de semillas; DEN: distancia entre nudos; NH: número de hojas.

| Ecotipo   | AP (cm) | DT (mm) | DAF (días) | REND (g) | NFFPP   | DDF (mm) | NS       | DEN (cm) | NH       |
|-----------|---------|---------|------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| RTZ       | 36.95 a | 6.15 a  | 43.66 a    | 9.29 a   | 40.04 a | 11.11 a  | 14.79 a  | 12.45 a  | 193.58 c |
| PTZ       | 34.70 b | 6.01 b  | 53.54 b    | 0.98 b   | 8.79 b  | 6.46 b   | 11.50 c  | 9.75 c   | 152.16 e |
| LNL       | 25.75 c | 5.11 c  | 58.62 d    | 0.16 b   | 1.95 d  | 6.29 b   | 10.79 c  | 9.66 cd  | 219.95 a |
| MZC       | 23.54 d | 4.92 d  | 54.12 b    | 0.51 b   | 4.62 d  | 8.30 ab  | 14.66 ab | 10.91 b  | 206.66 b |
| SNL       | 23.25 d | 4.71 e  | 56.29 c    | 0.35 b   | 2.79 d  | 7.02 b   | 12.04 bc | 9.25 cd  | 166.50 d |
| SAC       | 17.12 e | 4.09 f  | 54.37 b    | 0.26 b   | 2.20 d  | 6.60 b   | 7.91 d   | 9.04 d   | 141.37 f |
| Cubiertas |         |         |            |          |         |          |          |          |          |
| MB        | 36.41 a | 6.29 a  | 47.29 b    | 5.68 a   | 19.33 a | 10.77 a  | 18.87 a  | 13.66 b  | 303.08 a |
| MA        | 32.58 b | 5.39 b  | 45.12 a    | 3.10 b   | 13.95 b | 12.17 a  | 17.66 a  | 15.67 a  | 175.12 c |
| IN        | 27.83 c | 5.37 b  | 55.95 d    | 0.86 b   | 8.58 c  | 6.02 b   | 7.37 cd  | 6.62 e   | 139.12 d |
| MR        | 24.45 d | 4.76 d  | 55.62 d    | 0.70 c   | 6.50 d  | 6.86 b   | 12.83 b  | 7.87 d   | 248.79 b |
| MN        | 23.04 e | 4.15 e  | 53.66 c    | 0.69 c   | 6.87 cd | 5.39 b   | 8.95 c   | 12.16 c  | 135.91 d |
| CA        | 17.00 f | 5.03 c  | 62.95 e    | 0.44 c   | 5.16 d  | 4.56 b   | 6.00 d   | 5.08 f   | 78.20 e  |
| P         | **      | **      | **         | **       | **      | **       | *        | **       | **       |
| CV (%)    | 5.29    | 3.08    | 2.75       | 16.94    | 8.50    | 1.87     | 7.55     | 8.15     | 6.42     |

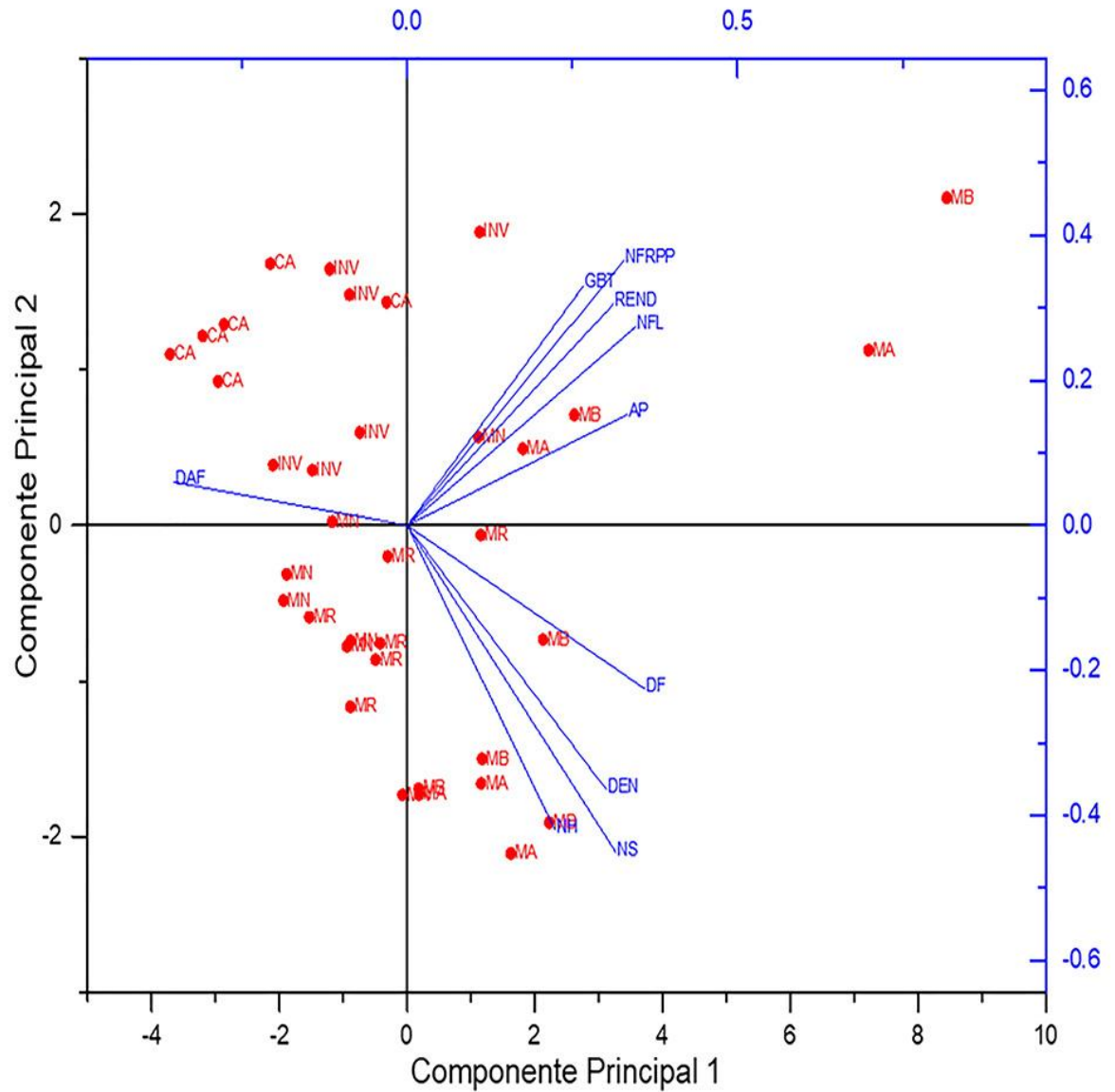
**Cuadro 6.** Vectores característicos y la proporción de la varianza explicada por los dos primeros componentes principales.

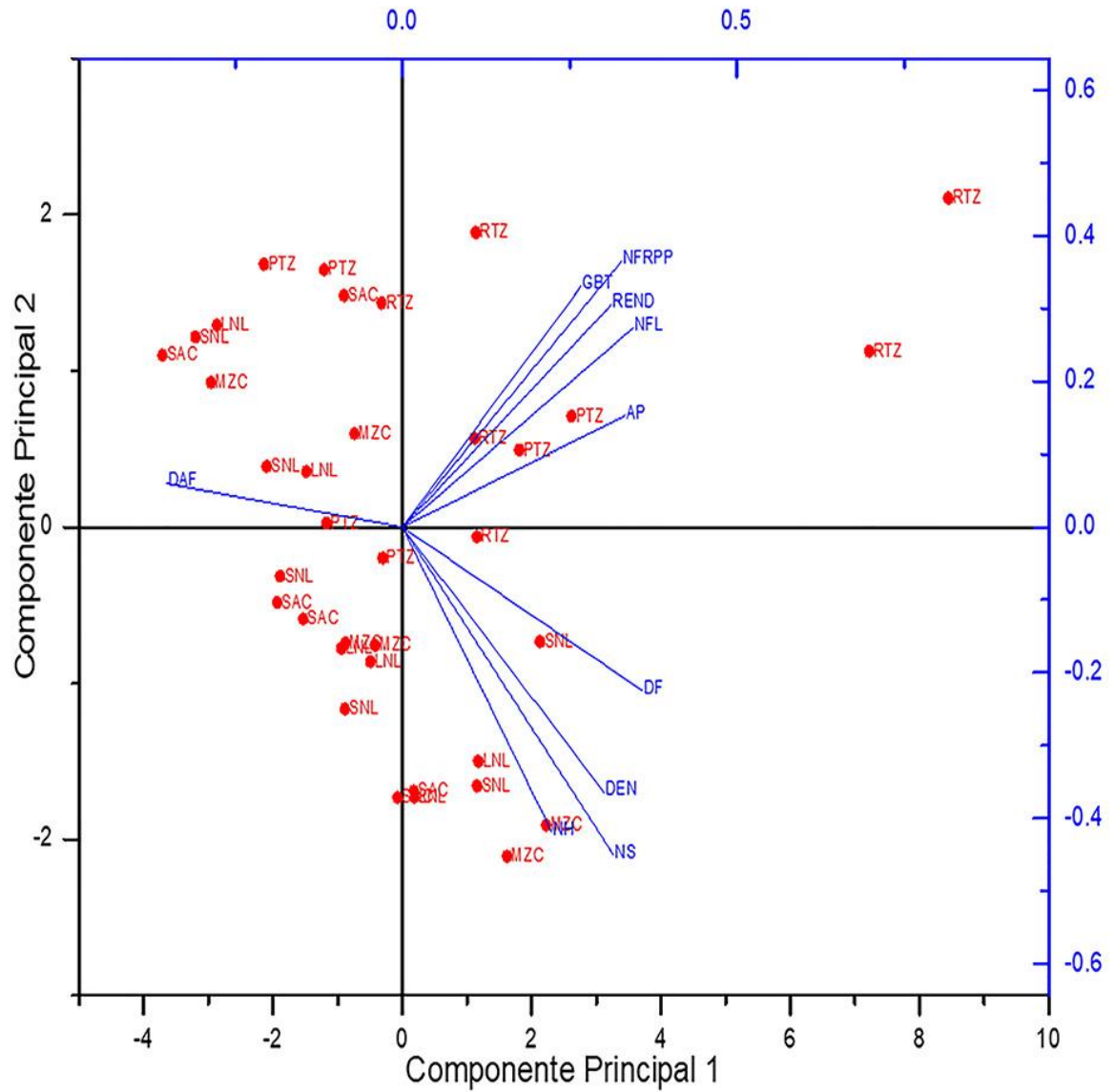
|                    | CP1             | CP2             |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| AP                 | <b>0.33247</b>  | 0.15243         |
| GBT                | 0.26704         | <b>0.33062</b>  |
| DAF                | <b>-0.35263</b> | 0.05962         |
| NFRPP              | 0.32774         | <b>0.36468</b>  |
| REND               | 0.31251         | 0.30546         |
| DF                 | <b>0.35866</b>  | -0.22458        |
| NS                 | 0.31634         | <b>-0.45157</b> |
| DEN                | 0.30149         | <b>-0.36418</b> |
| NH                 | 0.22385         | -0.4196         |
| Varianza explicada | 63.33           | 15.15           |
| Varianza acumulada | 63.33           | 78.48           |

CP1 y 2= Coeficientes de los componentes principales 1 y 2



**Figura 1.** Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) bajo las diferentes cubiertas en comparación con el campo abierto.





**Figura 3.** Biplot de la distribución espacial de las variables analizadas y dispersión de ecotipos, construido en base a los dos primeros componentes principales.