

Agronomic behavior of piquin pepper ecotypes under photoselective covers

Comportamiento agronómico de ecotipos de chile piquín bajo cubiertas fotoselectivas

José Rafael Paredes-Jácome¹; Rosalinda Mendoza-Villarreal^{1*};
Miguel Ángel Pérez-Rodríguez¹; Valentín Robledo-Torres¹;
Sergio Moreno-Limón²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro
núm. 1923, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315, MÉXICO.

²Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C. P. 66455, MÉXICO.

*Corresponding author: rosalindamendoza@hotmail.com, tel. 844 806 71 14.

Abstract

Introduction: The use of colored shading nets and greenhouses is a strategy to improve the use of solar radiation and regulate temperature, in addition to increasing productivity in horticultural crops.

Objective: To evaluate the effect of different photoselective covers on agronomic variables in wild piquin pepper ecotypes.

Methodology: Microclimatic variables and photosynthetically active radiation (PAR) were measured from transplanting seedlings, and agronomic variables at 40 days after transplant and at the last cut of the cycle (160 days).

Results: Temperature, relative humidity and PAR changed with the use of the different covers. Blue netting reduced PAR by 50.10 % compared to the open field. Principal component analysis grouped the uncovered cultivated plants with the lowest results in the evaluated variables, and the RTZ ecotype revealed the greatest tendency towards quadrant 1, with most of the variables. The yield in the white netting increased 1290.9 % compared to that obtained in the field.

Study limitations: The study generated information only for the plant genetic resources of the Northeast Region of Mexico.

Originality: The crop is not domesticated, so this work was done under different shade netting covers and a greenhouse.

Conclusions: White netting favored the development of the ecotypes, with RTZ being the one that presented the best values, which is why this combination is considered viable for the preservation and production of this species on a large scale.

Keywords: shade netting, yield, *Capsicum annuum*.

Resumen

Introducción: El uso de malla sombra de colores e invernaderos es una estrategia para aprovechar la radiación solar y regular la temperatura, además de incrementar la productividad de los cultivos hortícolas.

Objetivo: Evaluar el efecto de diferentes cubiertas fotoselectivas sobre variables agronómicas en ecotipos de chile piquín silvestre.

Metodología: Las variables microclimáticas y radiación fotosintéticamente activa (RFA) se midieron desde el trasplante de la planta, y las variables agronómicas a los 40 días después del trasplante y al último corte del ciclo (160 días).

Resultados: La temperatura, humedad relativa y RFA cambiaron con el uso de las diferentes cubiertas. La malla azul redujo 50.10 % la RFA en comparación con la incidente en campo abierto. El análisis de componentes principales agrupó a las plantas cultivadas sin cubierta con los menores resultados en las variables evaluadas, y el ecotipo RTZ reveló mayor tendencia hacia el cuadrante 1 en la mayoría de las variables. El rendimiento con malla blanca incrementó 1290.9 % en comparación con el obtenido en campo.

Limitaciones del estudio: El estudio únicamente genera información de los recursos fitogenéticos propios de la Región Noreste de México.

Originalidad: El cultivo no está domesticado, por lo que este trabajo aporta el estudio bajo diferentes cubiertas de malla sombra y un invernadero.

Conclusiones: La malla blanca favoreció el desarrollo de los ecotipos, siendo RTZ el que presentó los mejores valores, por lo que se considera viable esta combinación para la preservación y producción a gran escala.

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



Introduction

The piquin pepper is a wild species of great importance from an economic and nutritional point of view. Its preference is due to its pleasant taste and spiciness, comparable to other peppers such as the serrano and jalapeño (Villalón-Mendoza, Medina-Martínez, Ramírez-Meraz, Solis-Urbina, & Maiti, 2014). It is a wild plant distributed in Mexico and the southern United States, which demonstrates its wide environmental adaptability, probably associated with its genetic diversity. According to their nature, the fruits are obtained by harvesting in wild populations, and not from commercial plantations, which diminishes the natural populations and threatens the genetic diversity of this species (Rueda-Puente et al., 2010).

On the other hand, environmental conditions modify the phenology of plants; specifically, the wild populations of piquin pepper are perennial and commonly associated with partially shaded conditions in the understory, but when planted in the open field they can be considered annual crops due to frost, disease and susceptibility to pests (Rodríguez-del Bosque et al., 2003). In addition, in recent years, global warming has caused changes in environmental conditions, such as temperature and precipitation (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007). To mitigate these changes, shading nets or plastic covers can be used that, in addition to generating a certain amount of shade, simulate their wild habitat and promote the normal development of the plant, which increases the yield and quality of the fruit in comparison with open field production (Ayala-Tafoya et al., 2011).

This is of utmost importance, as plants that are not adapted to intense sunlight can develop heat stress. Most negative effects can be avoided with the protection of a greenhouse or with shading structures (Castronuovo, Statuto, Muro, Picuno, & Candido, 2017).

In order to preserve this species and increase its commercial cultivation, protected production systems are used as a viable alternative for the planting of *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* (Kitta, Katsoulas, Kandila, González-Real, & Baille, 2014). This is because plants cultivated under shade undergo morphological changes as mechanisms of adaptation to the low availability of light. This adaptation includes changes in the leaf area index, temperature and relative humidity, as well as better leaf area distribution in height, all of which can have effects on the plant's productive and physiological responses (Li, Chen, & Li, 2012).

Photoselective nets for agricultural use filter the intercepted solar radiation (Shahak, Gal, Offir, & Ben-Yakir, 2008), as well as being designed to detect several spectral bands of solar radiation and transform direct

Introducción

El chile piquín es una especie silvestre de gran importancia desde el punto de vista económico y alimenticio. Su preferencia se debe a su agradable sabor y picor, comparado con el de otros chiles como el serrano y el jalapeño (Villalón-Mendoza, Medina-Martínez, Ramírez-Meraz, Solis-Urbina, & Maiti, 2014). Esta planta se encuentra distribuida de forma silvestre en México y en el sur de Estados Unidos de América, lo que demuestra su amplia adaptabilidad ambiental, probablemente asociada con su diversidad genética. De acuerdo con su naturaleza, los frutos se obtienen por recolección en poblaciones silvestres, y no de plantaciones comerciales, lo que disminuye las poblaciones naturales y amenaza la diversidad genética de esta especie (Rueda-Puente et al., 2010).

Por otro lado, las condiciones ambientales modifican la fenología de las plantas; específicamente, las poblaciones silvestres de chile piquín son perennes y comúnmente se asocian a condiciones parcialmente sombreadas en el sotobosque, pero cuando se siembran en campo abierto se pueden considerar cultivos anuales debido a las heladas, las enfermedades y la susceptibilidad a plagas (Rodríguez-del Bosque et al., 2003). Además, en los últimos años, el calentamiento global ha ocasionado cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura y la precipitación (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007). Para mitigar dichos cambios se pueden utilizar mallas sombra o cubiertas plásticas que, además de generar cierta cantidad de sombra, simulan su hábitat silvestre y propician el desarrollo normal de la planta, lo que incrementa el rendimiento y la calidad del fruto en comparación con la producción en campo abierto (Ayala-Tafoya et al., 2011).

Lo anterior es de suma importancia ya que las plantas que no están adaptadas a la luz solar intensa pueden desarrollar estrés por calor. La mayoría de los efectos negativos pueden evitarse con la protección de un invernadero o con estructuras de sombreado (Castronuovo, Statuto, Muro, Picuno, & Candido, 2017).

Con la finalidad de preservar esta especie e incrementar su cultivo comercial, se utilizan sistemas de producción protegida como alternativa viable para la siembra de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* (Kitta, Katsoulas, Kandila, González-Real, & Baille, 2014); ya que las plantas cultivadas bajo sombra presentan cambios morfológicos como mecanismos de adaptación a la baja disponibilidad de luz. Dicha adaptación incluye cambios en el índice de área foliar, temperatura y humedad relativa, así como una mejor distribución del área foliar en altura, lo que puede tener efectos sobre las respuestas productivas y fisiológicas de la planta (Li, Chen, & Li, 2012).

light to diffuse light. In crops such as cucumber (*Cucumis sativus*) and pepper (*Capsicum annuum*), using white, blue, green and white-polyethylene covers increased temperature, relative humidity and evapotranspiration, resulting in greater growth, yield and biochemical compound content per plant (Casierra, Matallana, & Zapata, 2014; Hashem, Medany, Abd, & Abdallah, 2011).

Changes in spectral light promote different morphogenetic and photosynthetic responses (Fu, Li, & Wu, 2012). Each plastic net modifies the solar radiation that reaches the crop, reducing the flow of light and varying the available radiant spectrum. Apart from the net structure, the transmittance spectrum is also influenced by the diameter of the thread, color and thickness of the net, and the absorbance, transmittance and reflectance properties of the plastic material (Sica & Picuno, 2008). Based on the above, this study aimed to evaluate the effect of different photoselective covers (nets and greenhouse) on agronomic variables in wild piquin pepper ecotypes. It is hypothesized that the use of different covers will increase yield and agronomic traits, at least in one of the six ecotypes evaluated.

Materials and methods

The research was carried out during the spring-summer 2016 agricultural cycle in the Horticulture Department of the *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* in Saltillo, Coahuila (25° 35' 63" NL and 101° 03' 49" WL, at 1581 m of elevation). Wild piquin pepper seeds collected in the states of Zacatecas, Nuevo León and Coahuila, Mexico, during October and November 2015, were used (Table 1).

The seeds, previously treated with 500 ppm of gibberellic acid (Biogib®), were sown in 200-cavity polystyrene trays in order to break the seed coat and

Las mallas fotoselectivas de uso agrícola filtran la radiación solar interceptada (Shahak, Gal, Offir, & Ben-Yakir, 2008), además de estar diseñadas para detectar varias bandas espectrales de la radiación solar y transformar la luz directa a luz difusa. En cultivos como pepino (*Cucumis sativus*) y pimiento (*Capsicum annuum*), al utilizar cubiertas de malla blanca, azul, verde y polietileno blanco se incrementó la temperatura, humedad relativa y la evapotranspiración, con lo que se obtuvo mayor crecimiento, rendimiento y contenido de compuestos bioquímicos por planta (Casierra, Matallana, & Zapata, 2014; Hashem, Medany, Abd, & Abdallah, 2011).

Los cambios en la luz espectral promueven diferentes respuestas morfológicas y fotosintéticas (Fu, Li, & Wu, 2012). Cada red de plástico modifica la radiación solar que llega al cultivo, lo que reduce el flujo de luz y varía el espectro radiante disponible. Además de la estructura de la red, el espectro de 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 & Picuno, 2008). Con base en lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes cubiertas fotoselectivas (mallas e invernadero) sobre variables agronómicas en ecotipos de Chile piquín silvestre. Se plantea como hipótesis que el uso de diferentes cubiertas incrementará el rendimiento y los caracteres agronómicos, al menos en uno de los seis ecotipos evaluados.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2016 en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila (25° 35' 63" latitud

Table 1. Collection and location of wild piquin pepper ecotypes.

Cuadro 1. Colecta y ubicación de ecotipos de Chile piquín silvestre.

Abbreviation/ Abreviación	Location-State / Localidad-Estado	Elevation (masl) / Altitud (msnm)	Collection coordinates / Coordenadas de recolección
RTZ	Río Tuxpan, Zacatecas	2060	22° 39' 10.5" NL, 102° 42' 16.2" WL / 22° 39' 10.5" LN, 102° 42' 16.2" LO
PTZ	Puente Tepetatilla, Zacatecas	1888	22° 47' 14.1" NL, 103° 35' 11.4" WL / 22° 47' 14.1" LN, 103° 35' 11.4" LO
MZC	Múzquiz, Coahuila	499	28° 00' 02.9" NL, 101° 44' 45.8" WL / 28° 00' 02.9" LN, 101° 44' 45.8" LO
SAC	San Alberto, Coahuila	365	27° 42' 83.1" NL, 101° 38' 16.1" WL / 27° 42' 83.1" LN, 101° 38' 16.1" LO
SNL	Santiago, Nuevo León	480	25° 23' 53.7" NL, 100° 06' 22.8" WL / 25° 23' 53.7" NL, 100° 06' 22.8" LO
LNL	Linares, Nuevo León	356	24° 50' 14.5" NL, 99° 35' 21.8" WL / 24° 50' 14.5" LN, 99° 35' 21.8" LO

obtain greater germination. Sphagnum peat moss (Pro Mix®) and perlite (Hortiperl®) were used at a 2:1 (v/v) ratio. The plants began to emerge 25 and 38 days after sowing. When the seedlings reached 15 cm in height, they were transplanted into 10-L polyethylene bags and placed at a distance of 40 cm between plants and 1 m between furrows (at a density of 20 750 plants·ha⁻¹).

The crop was grown in macro-tunnels (4 m wide, 6 m long and 2.30 m high) with raschel netting with 30 % shading and hole size of 6 x 8 mm, and a macro-tunnel covered with milky white polyethylene with 20 % shading, while open field production had 100 % light transmission. Steiner's nutrient solution (1976) was used at 25 % in seedling stage, at 50 % during vegetative development, at 75 % in flowering and at 100 % in fructification. The water supply was from 0.50 to 2.50 L·plant⁻¹·day⁻¹ through a stake-based fertigation system.

An experimental design was used with a split-plot arrangement, where the large plot includes covers and the small plot the ecotypes (Table 2), giving a total of 36 treatments. Analysis of variance and Tukey's means comparison ($P \leq 0.05$) of the evaluated variables were carried out with Statistical Analysis System software (SAS Institute Inc., 2004). On the other hand, principal component analysis and biplot graphs were carried out with the *prcomp* function in R version 3.4.3.

The microclimatic variables recorded were ambient temperature and relative humidity with a digital thermohygrometer (1452, Taylor®, China), and photosynthetically active radiation (PAR) was recorded with a portable Quantum sensor (SM-700, Apogee®, USA). All measurements were made between 7:00 and 19:00 h in the center of each macro-tunnel and under clear sky conditions. The morphological variables evaluated were: plant height (PH) and internode length (IL) with a tape measure, basal stem diameter (BSD) and fruit diameter (FD) with a digital Vernier caliper (HER-411, Digital Caliper®, China), and average fruit yield (AFY). The last was estimated by the weight of the fruits per plant, using an electronic scale (BABOL-100G, Rhino®, China) with a maximum capacity of 100 g and minimum resolution of 0.01 g. In addition, the

norte y 101° 03' 49" longitud oeste, a 1581 m de altitud). Se utilizaron semillas de chile piquín silvestre recolectadas en los estados de Zacatecas, Nuevo León y Coahuila, México, durante octubre y noviembre de 2015 (Cuadro 1).

Las semillas, tratadas previamente con 500 ppm de ácido giberélico (Biogib®), se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades 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 plantas comenzaron a emerger a los 25 y 38 días después de la siembra. 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 m entre surcos (a una densidad de 20750 plantas·ha⁻¹).

El cultivo se desarrolló en macro túneles (4 m de ancho, 6 m de largo y 2.30 m de alto) con malla "raschel" con 30 % de sombreado y tamaño de orificio de 6 x 8 mm, y un macro túnel cubierto con polietileno blanco lechoso con 20 % de sombra, mientras que la producción en campo abierto tuvo el 100 % de transmisión de luz. Se utilizó la solución nutritiva de Steiner (1976) al 25 % en plántula, al 50 % durante el desarrollo vegetativo, al 75 % en floración y al 100 % en fructificación. El aporte de agua fue de 0.50 a 2.50 L·planta⁻¹·día⁻¹ mediante un sistema de fertirriego por estacas.

Se estableció un diseño experimental con arreglo en parcelas divididas; en donde la parcela grande incluye las cubiertas y la parcela chica los ecotipos (Cuadro 2), lo que dio un total de 36 tratamientos. El análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) de las variables evaluadas se realizaron con el programa *Statistical Analysis System* (SAS Institute Inc., 2004). Por su parte, el análisis de componentes principales y las gráficas biplot se llevaron a cabo con la función *prcomp* en R versión 3.4.3.

Las variables microclimáticas registradas fueron temperatura ambiental y humedad relativa con un termohigrómetro digital (1452, Taylor®, China), y la

Table 2. Description of evaluated factors.

Cuadro 2. Descripción de factores evaluados.

Plot/Parcela		Factors/Factores				
Small (Ecotypes)/ Chica (Ecotipos)	RTZ: Rio Tuxpan, Zacatecas	PTZ: Puente Tepetatilla, Zacatecas	MZC: Múzquiz, Coahuila	SAC: San Alberto, Coahuila	LNL: Linares, Nuevo León	SNL: Santiago, Nuevo León
Large (Covers)/ Grande (Cubiertas)	OF: Open field/ CA: Campo abierto	GRE: Greenhouse/ INV: Invernadero	BLAN: Black netting/ MN: Malla negra	RN: Red netting/ MR: Malla roja	BLUN: Blue netting/ MA: Malla azul	WN: White netting/ MB: Malla blanca

number of fruits per plant (NFP), number of seeds (NS), number of leaves (NL) and days to flowering (DF) were quantified.

Results and discussion

Effect of nets on the crop environment

PAR, ambient temperature and relative humidity were different in each cover with respect to the field. Only the field and under-greenhouse measurements exceeded $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figure 1), and there were reductions of between 43 and 50 % PAR with the different covers compared to that presented in the field (Table 3). The maximum PAR indices consistently occurred between 13:00 and 15:00 h, while in the colored nets these indices were between 500 and $700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, with the red netting recording the highest indices and the blue the lowest. PAR above $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ has a direct effect on the photosynthesis rate, which negatively affects productivity, growth and yield (Kitta et al., 2014). The results of the decline in PAR were notable because the shade netting had a buffering effect on the changes in this parameter over the course of the day (Figure 1).

According to Retamales, Montecino, Lobos, and Rojas (2008), in highbush blueberry cultivation it has been observed that PAR, transmitted by white and red nets with 35 % shading, and grey netting with 50 % shading, was reduced by up to 29 %, while red netting with 50 % shading and black netting with 35 % shading decreased PAR by 41 and 47 %, respectively, compared to the field. Therefore, the use of shading nets is relevant for reducing the impact of high light intensity in open field conditions and transforming direct radiation into dispersed radiation. This allows light to penetrate the

radiación fotosintéticamente activa (RFA) se registró con un sensor portátil Quantum (SM-700, Apogee®, EUA). Todas las mediciones se realizaron entre las 7:00 y 19:00 h en el centro de cada macrotunel y en condiciones de cielo despejado. Por su parte, las variables morfológicas evaluadas fueron: la altura de planta (AP) y longitud de entrenudos (LE) con cinta métrica, diámetro basal de tallo (DBT) y diámetro de fruto (DF) con un vernier digital (HER-411, Digital Caliper®, China), y el rendimiento promedio de fruto (RPF). Esta última se estimó mediante el peso de los frutos por planta con una báscula electrónica (BABOL-100G, Rhino®, China) con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g. Adicionalmente, se cuantificó el número de frutos por planta (NFP), número de semillas (NS), número de hojas (NH) y días a floración (DAF).

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. Solo las mediciones en campo y bajo invernadero superaron los $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 1), y hubo reducciones entre 43 y 50 % de la RFA con las diferentes cubiertas en comparación con la presentada en campo (Cuadro 3). Los índices máximos de RFA ocurrieron de manera consistente entre las 13:00 y 15:00 h. Con las mallas de colores dicho índice osciló entre 500 y $700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, siendo la malla roja la que registró los mayores valores y la malla azul los menores. La RFA por encima de $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ tiene un efecto directo en la tasa de fotosíntesis, lo cual afecta negativamente la productividad, el crecimiento y el rendimiento (Kitta et al., 2014). Los resultados de la disminución de la RFA fueron notables debido a que

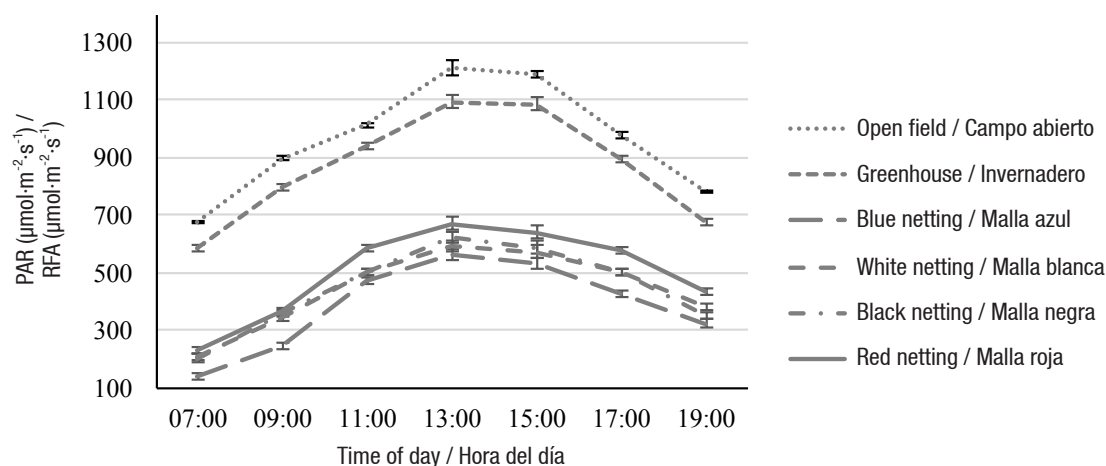


Figure 1. Behavior of photosynthetically active radiation (PAR) under the different covers compared to the open field.

Figura 1. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) bajo las diferentes cubiertas en comparación con el campo abierto.

Table 3. Comparison of radiation and temperature averages recorded during the production cycle of piquin pepper under the different environments.**Cuadro 3. Comparación de medias de la radiación y temperatura registradas durante el ciclo de producción de Chile piquín bajo los diferentes ambientes.**

Environment/Ambiente	Reduction of PAR ¹ with respect to OF (%)/ Reducción de RFA ¹ respecto a CA (%)	Temperature (°C)/ Temperatura (°C)	RH (%) / HR (%)
Red netting/Malla roja	43.59	31.23 b ²	31.84 c
Blue netting/Malla azul	50.10	30.18 d	33.36 a
White netting/Malla blanca	49.14	30.01 d	32.83 b
Black netting/Malla negra	48.86	29.07 e	32.96 b
Greenhouse/Invernadero	7.16	31.68 b	31.63 d
Open field/Campo abierto	0	33.94 a	32.72 b

¹PAR = photosynthetically active radiation; OF = open field; RH = relative humidity. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹RFA = radiación fotosintéticamente activa; CA = campo abierto; HR = humedad relativa. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

inner canopy of the plant, which prevents burns and gives a moderate cooling effect (Ilic et al., 2017).

Shahak (2014) points out that with any cover placed on plants, in addition to the effects on light intensity and quality, the climatic elements (solar radiation, wind speed, temperature and relative humidity) can be modified (Arthurs, Stamps, & Giglia, 2013), altering the metabolism and water consumption of plants, which has a positive impact on fruit yield and quality (Tanny, 2012). Temperature and relative humidity play an important role in foliar stomatal conductance and, therefore, in the rate of transpiration and photosynthesis of the plant (Righi, Buriol, Angelocci, Heldwein, & Tazzo, 2012).

Effect of the nets on the crop

Highly significant ($P \leq 0.01$) differences were found among covers in all the growth variables studied (Table 4). Plants grown under white netting showed the greatest statistical difference in seven of the nine variables studied (PH, BSD, AFY, NFP, FD, NS and NL), and plants grown under blue netting had the best values in four of the variables (DF, FD, NS and IL); therefore, the latter can be considered as the second-best cover for piquin pepper cultivation (Table 5).

On the other hand, plants grown in the open field showed the worst results in eight of the nine variables studied (except BSD) (Table 5). Likewise, plants grown under black netting showed the lowest values in four of the analyzed variables (BSD, AFY, NFP and FD), which supports the need to look for the best conditions for the development of wild piquin pepper, in this case through the use of nets that provide the optimal ranges in the microclimatic variables.

The white netting produced a higher NFP and AFY (374.61 and 1290.90 %, respectively), compared to

la malla sombra provocó un efecto de amortiguamiento en los cambios de este parámetro en el transcurso del día (Figura 1).

De acuerdo con Retamales, Montecino, Lobos, y Rojas (2008), en el cultivo de arándano se ha observado que la RFA, transmitida por mallas de color blanco y rojo con 35 % de sombra, y por malla gris con 50 % de sombra, se redujo hasta un 29 %; mientras que la malla de color rojo con 50 % de sombra y la malla negra con 35 % de sombra disminuyeron la RFA en 41 y 47 %, respectivamente, en comparación con el campo. Por ello, el uso de malla sombra resulta relevante para reducir el impacto de la alta intensidad de luz en condiciones de campo abierto y transformar la radiación directa en dispersa. Lo anterior permite que la luz penetre en el dosel interno de la planta, lo que previene quemaduras y da un efecto moderado de enfriamiento (Ilic et al., 2017).

Shahak (2014) señala que con cualquier cubierta que se coloque sobre las plantas, además de los efectos sobre la intensidad y la calidad de la luz, se pueden modificar los elementos climáticos (radiación solar, velocidad del viento, temperatura y humedad relativa) (Arthurs, Stamps, & Giglia, 2013), alterando el metabolismo y el consumo de agua de las plantas, lo que repercute positivamente en el rendimiento y la calidad del fruto (Tanny, 2012). La temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante en la conductancia estomática foliar y, por ende, en la tasa de transpiración y fotosíntesis de la planta (Righi, Buriol, Angelocci, Heldwein, & Tazzo, 2012).

Efecto de las mallas sobre el cultivo

Se encontraron efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) entre cubiertas en todas las variables de crecimiento estudiadas (Cuadro 4). Las plantas cultivadas bajo malla blanca presentaron la mayor diferencia estadística en

Table 4. Mean squares of the analysis of variance of the variables of the different piquin pepper ecotypes grown under different covers.**Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables de los diferentes ecotipos de Chile piquín desarrollados bajo diferentes cubiertas.**

Source of variation/ Fuente de variación	DF ¹ / GL ¹	PH/AP	BSD/ DBT	DF/DAF	NFP	AFY/ RPF	FD/DF	NS	IL/LE	NL/NH
Cover/Cubierta	5	1 192.4**	12.3**	1 001.7**	720.6**	103.8**	154.5**	548.4**	432.6**	162 629.7**
Ecotype/Ecotipo	5	1 333.4**	14.9**	633.0**	5 328.7**	312.4**	58.0**	125.2**	40.0**	23 717.3**
Cover x ecotype/ Cubierta x ecotipo	25	104.1**	2.1**	68.2**	383.0*	84.3**	4.4**	6.1**	4.1**	5 035.7**
CV (%)		5.29	3.08	2.75	8.50	16.94	1.87	7.55	8.15	6.42

¹DF = degrees of freedom; PH = plant height; BSD = basal stem diameter; DF = days to flowering; NFP = number of fruits per plant; AFY = average fruit yield; FD = fruit diameter; NS = number of seeds; IL = internode length; NL = number of leaves; CV = coefficient of variation. * = significant ($P \leq 0.05$); ** = highly significant ($P \leq 0.01$).

¹GL = grados de libertad; AP = altura de planta; DBT = diámetro basal de tallo; DAF = días a floración; NFP = número de frutos por planta; RPF = rendimiento promedio de fruto; DF = diámetro de fruto; NS = número de semillas; LE = longitud de entrenudos; NH = número de hojas; CV = coeficiente de variación. * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Table 5. Comparison of means of the agronomic variables of the different piquin pepper ecotypes and environments evaluated.**Cuadro 5. Comparación de medias de las variables agronómicas de los diferentes ecotipos de Chile piquín y ambientes evaluados.**

Factors/ Factores	Variables evaluated/Variabes evaluadas								
Ecotype/ Ecotipo	PH ¹ (cm)/ AP ¹ (cm)	BSD (mm)/ DBT (mm)	DF (days)/ DAF (días)	AFY (g)/ RPF (g)	NFP	FD (mm)/ DF (mm)	NS	IL (cm)/ LE (cm)	NL/NH
RTZ	36.95 a ^z	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
Covers/ Cubiertas									
WN/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
BLUN/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
GRE/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
RN/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
BLAN/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
OF/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
	**	**	**	**	**	**	*	**	**
CV (%)	5.29	3.08	2.75	16.94	8.5	1.87	7.55	8.15	6.42

¹PH = plant height; BSD = basal stem diameter; DF = days to flowering; AFY = average fruit yield; NFP = number of fruits per plant; FD = fruit diameter; NS = number of seeds; IL = internode length; NL = number of leaves; RTZ = Rio Tuxpan, Zacatecas; PTZ = Puente Tepetatilla, Zacatecas; LNL = Linares, Nuevo León; MZC = Múzquiz, Coahuila; SNL = Santiago, Nuevo León; SAC = San Alberto, Coahuila; WN = white netting; BLUN = blue netting; GRE = greenhouse; RN = red netting; BLAN = black netting; OF = open field; CV = coefficient of variation. ** = highly significant ($P \leq 0.01$). Means with the same letter within each column do not differ significantly (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹AP = altura de planta; DBT = diámetro basal de tallo; DAF = días a floración; RPF = rendimiento promedio de fruto; NFP = número de frutos por planta; DF = diámetro de fruto; NS = número de semillas; LE = longitud de entrenudos; NH = número de hojas; RTZ = Rio Tuxpan, Zacatecas; PTZ = Puente Tepetatilla, Zacatecas; LNL = Linares, Nuevo León; MZC = Múzquiz, Coahuila; SNL = Santiago, Nuevo León; SAC = San Alberto, Coahuila; MB = malla blanca; MA = malla azul; IN = invernadero; MR = malla roja; MN = malla negra; CA = campo abierto; CV = coeficiente de variación. ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$). Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

open field production (Table 5). Likewise, fruits grown under white and blue nets produced larger FD (236.18 and 266.88 %, respectively) and NS (314.50 and 294.33 %, respectively), both with respect to open field production.

The decreased PAR availability may induce morphogenetic responses such as increased leaf area and lengthening of the stem and internodes, because cells expand more with low solar radiation intensities to capture light and carry out photosynthesis. This is associated with the phenomenon known as “shade avoidance”, since it is influenced by the phytochromatic activity that regulates stem lengthening, by transforming non-photosynthetic plastids (etioplasts) into fully developed chloroplasts with photosynthetic function, and the leaf area, with the consequent effects on photoassimilation distribution and fruit growth (Bastías, Manfrini, & Grappadelli, 2012).

In this study, the nets and greenhouse caused an increase in the final height of the piquin pepper plants (Table 5), probably in response to the reduced light (Salisbury & Ross, 2000). It has been reported that when using nets the PH changes depending on the color of the net; in bell pepper the highest PH was obtained with blue nets (Ayala-Tafoya et al., 2015), and in basil with black ones (Martínez-Gutiérrez, Nicolás-Santana, Ortiz-Hernández, Morales, & Gutiérrez-Hernández, 2016).

Radiation is one of the factors capable of producing greater photosynthetic activity in plants; in addition, the quality and distribution of the light spectrum can influence the length of the internode and the development of flowering (Runkle & Heins, 2006). In this case, this effect stood out in the white and blue nets, where an increase in PH of 114.05 and 91.53 %, respectively, was recorded compared to the open field. Additionally, the white netting increased BSD by 34.1% in contrast to the black netting, where the lowest result was obtained. This coincides with the findings of Ayala-Tafoya et al. (2011), who report that colored shading nets increased BSD in tomato.

Principal component analysis (PCA) revealed a grouping of plants in the second quadrant (Figure 2), which indicates that they showed lower PH, NFP and FD, and higher DF (CP1), as well as greater BSD and fruit weight and lower NS (PC2), this considering the relevance of these variables for each of the components (Table 6). However, in general, the materials behaved in a dispersed manner in the analyzed conditions, which reveals that the ecotype played a determining role in the variables studied. It is important to note that a larger BSD allows the plant to have a better-developed vascular system, through which it conducts water and nutrients, which improves physiological processes (Bahena-Delgado, Bustos-Rangel, Broa-Rojas, & Jaime-Hernández, 2012).

siete de las nueve variables estudiadas (AP, DBT, RPF, NFP, DF, NS y NH), y las plantas cultivadas bajo malla azul tuvieron los mejores valores en cuatro de las variables (DAF, DF, NS y LE); por lo que esta última se puede considerar como la segunda mejor cubierta para cultivo de chile piquín (Cuadro 5).

Por su parte, las plantas cultivadas en campo abierto mostraron los peores resultados en ocho de las nueve variables estudiadas (excepto en DBT) (Cuadro 5). Asimismo, las plantas cultivadas bajo malla de color negro mostraron los valores más bajos en cuatro de las variables (DBT, RPF, NFP y DF), lo cual soporta la necesidad de buscar las mejores condiciones para el desarrollo de chile piquín silvestre; en este caso mediante el uso de mallas que proporcionen los rangos óptimos en las variables microclimáticas.

En la malla blanca se produjo un mayor NFP y RPF (374.61 y 1290.90 %, respectivamente), en comparación con la producción en campo abierto (Cuadro 5). Igualmente, los frutos cultivados bajo malla blanca y azul produjeron los mayores DF (236.18 y 266.88 %, respectivamente) y NS (314.50 y 294.33 %, respectivamente), ambos con respecto a la producción en campo abierto.

La disminución de la disponibilidad de la RFA puede inducir respuestas morfológicas como incremento del área foliar, y alargamiento del vástago y entrenudos, debido a que las células se expanden más con bajas intensidades de radiación solar para captar la luz y llevar a cabo la fotosíntesis. Lo anterior está asociado con el fenómeno conocido como “evitación de la sombra”, ya que está influenciado por la actividad fitocromática que regula el alargamiento del tallo, al transformar plastidios no fotosintéticos (etioplastos) en 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, Manfrini, & Grappadelli, 2012).

En este 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 & Ross, 2000). Se ha reportado que al usar mallas cambia la AP dependiendo del color de la malla; en pimiento morrón la mayor AP se obtuvo con mallas azules (Ayala-Tafoya et al., 2015), y en albahaca con malla negra (Martínez-Gutiérrez, Nicolás-Santana, Ortiz-Hernández, Morales, & Gutiérrez-Hernández, 2016).

La radiación es uno de los factores capaces de producir mayor actividad fotosintética en las plantas; además, la calidad y la distribución del espectro de luz pueden influir en la longitud del entrenudo y el desarrollo de la floración. (Runkle & Heins, 2006). En este caso, dicho efecto sobresalió en las mallas blanca y azul, donde

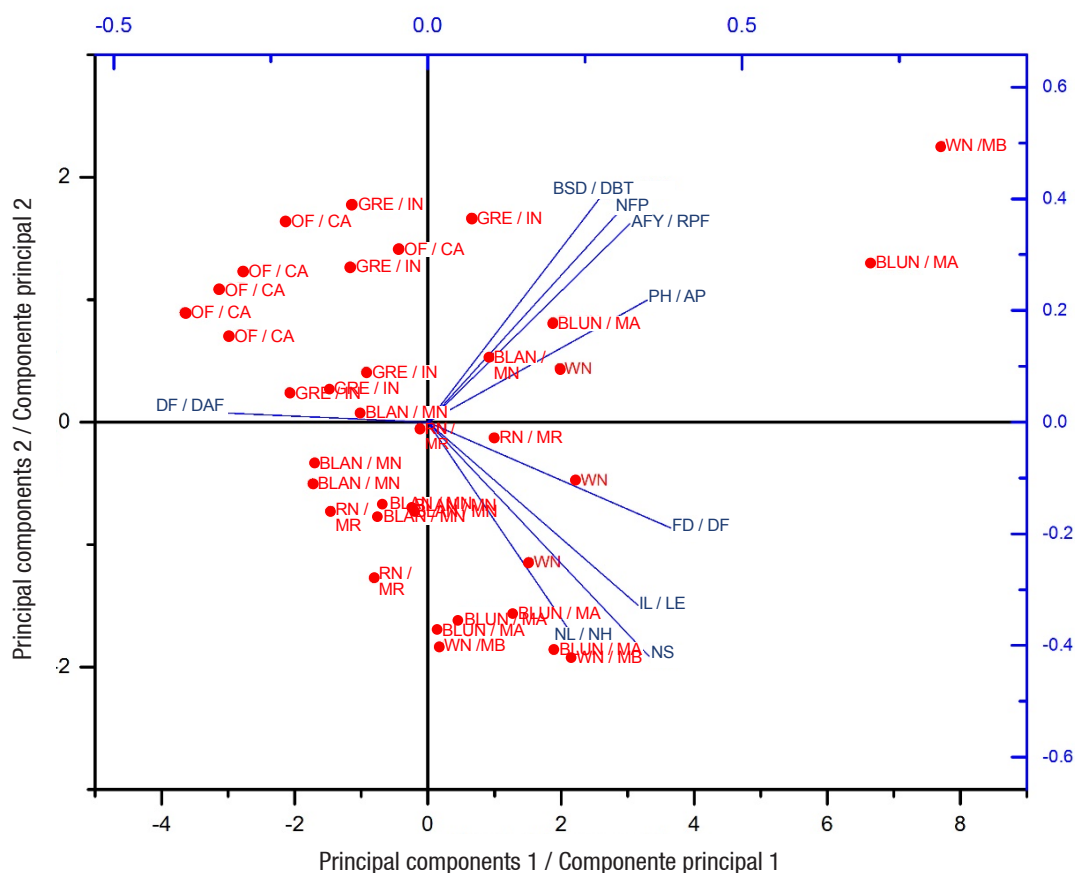


Figure 2. Graph of the principal components of the analyzed variables and types of cover.

PH = plant height; BSD = basal stem diameter; DF = days to flowering; AFY = average fruit yield; NFP = number of fruits per plant; FD = fruit diameter; NS = number of seeds; IL = internode length; NL = number of leaves; WN = white netting; BLUN = blue netting; GRE = greenhouse; RN = red netting; BLAN = black netting; OF = open field.

Figura 2. Gráfica de componentes principales de las variables analizadas y tipo de cubierta.

AP = altura de planta; DBT = diámetro basal de tallo; DAF = días a floración; RPF = rendimiento promedio de fruto; NFP = número de frutos por planta; DF = diámetro de fruto; NS = número de semillas; LE = longitud de entrenudos; NH = número de hojas; MB = malla blanca; MA = malla azul; IN = invernadero; MR = malla roja; MN = malla negra; CA = campo abierto.

Díaz-Pérez (2014) found an increase in the number and size of bell pepper fruit under shade conditions. Shahak et al. (2008) when evaluating “raschel” colored nets (red, yellow and pearl, with 30 to 40 % shading) in bell pepper obtained 115 to 135 % higher AFY compared to results obtained with black netting and in the open field. In contrast, Ayala-Tafoya et al. (2015) found no significant differences in the NFP in bell pepper when using different colored nets and production without nets.

Effect of ecotypes

All growth variables showed highly significant ($P \leq 0.01$) differences among the different ecotypes analyzed (Table 4). The RTZ ecotype had the best performance in eight of the nine variables (PH, BSD, DF, AFY, NFP, FD, NS and IL), while the SAC ecotype had the worst performance in almost all variables. The community

se registró un aumento en la AP de 114.05 y 91.53 %, respectivamente, en comparación con campo abierto. Adicionalmente, la malla blanca incrementó 34.1 % el DBT en contraste con la malla negra, donde se obtuvo el menor resultado. Esto coincide con lo reportado por Ayala-Tafoya et al. (2011), quienes mencionan que la malla sombra de color aumentó el DBT en el cultivo de tomate.

El análisis de componentes principales (ACP) reveló una agrupación de las plantas en el segundo cuadrante (Figura 2), lo cual indica que éstas mostraron menor AP, NFP y DF, y mayor DAF (CP1), además de un mayor DBT y peso del fruto, así como un menor NS (CP2); lo anterior considerando la relevancia de esas variables para cada uno de los componentes (Cuadro 6). Sin embargo, en general, los materiales se comportaron de modo disperso en las condiciones analizadas, lo cual revela que el ecotipo jugó un papel determinante en las

Table 6. Characteristic vectors and proportion of variance explained by the first two principal components.
Cuadro 6. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada por los dos primeros componentes principales.

Variable evaluated/Variable evaluada	PC1 ¹ /CP1 ¹	PC2/CP2
Plant height/Altura de planta	0.33247	0.15243
Basal stem diameter/Diámetro basal de tallo	0.26704	0.33062
Days to flowering/Días a floración	-0.35263	0.05962
Number of fruits per plant/Número de frutos por planta	0.32774	0.36468
Average fruit yield/Rendimiento promedio de fruto	0.31251	0.30546
Fruit diameter/Diámetro de fruto	0.35866	-0.22458
Number of seeds/Número de semillas	0.31634	-0.45157
Internode length/Longitud de entrenudos	0.30149	-0.36418
Number of leaves/Número de hojas	0.22385	-0.4196
-----	-----	-----
Explained variance/Varianza explicada	63.33	15.15
-----	-----	-----
Cumulative variance/Varianza acumulada	63.33	78.48

¹PC1 and PC2 = coefficients of principal components 1 and 2.

¹CP1 y CP2 = coeficientes de los componentes principales 1 y 2.

of origin of the latter is at an elevation of 365 masl, which is much lower than that of the place where the experiment was established (1580 masl). On the other hand, the place of origin of the RTZ ecotype is at an elevation of 2060 m, which could have influenced the adaptation to the conditions of the experiment. However, this does not coincide with what was reported by Martínez-Sánchez, Pérez-Grajales, Rodríguez-Pérez, and Moreno-Pérez (2010), who collected wild species of *Capsicum annum* at elevations of 940 to 1600 m, and evaluated them at 2247 m without finding significant statistical differences among species in the variables PH, BSD, NFP and fruit size.

PCA did not reveal distinct ecotype groupings, which supports the idea that the environment also plays an important role in the dispersion of data. However, some trends were observed; for example, the RTZ ecotype was grouped to a greater extent in quadrant 1 (Figure 3), indicating that these plants performed better in terms of FD, NFP, PH and BSD. In addition, this ecotype showed greater PH (46.5 %) and BSD (34.5 %) compared to the SAC ecotype (Table 5), and exhibited greater precocity (DF), coming 14 days earlier than the latest-flowering ecotype (LNL), and had 95 % more fruits per plant compared to the same ecotype (Table 5).

On the other hand, blue netting increased the precocity to flowering by almost 18 days with respect to the open field, and, of all the covers, it also produced the largest IL, which was 62.81 % longer than in the production

variables estudiadas. Es importante resaltar que un mayor DBT permite a la planta tener mejor desarrollo de su sistema vascular, mediante el cual conduce el agua y los nutrientes, lo que mejora los procesos fisiológicos (Bahena-Delgado, Bustos-Rangel, Broa-Rojas, & Jaime-Hernández, 2012).

Díaz-Pérez (2014) encontró un aumento en el número y el tamaño de frutos en pimiento morrón bajo condiciones de sombreado. Shahak et al. (2008) al evaluar mallas de colores "raschel" (rojo, amarillo y perla, con 30 a 40 % de sombra) en pimiento obtuvieron RPF de 115 a 135 % más en comparación con los resultados obtenidos con malla negra y en campo abierto. En contraste, Ayala-Tafoya et al. (2015) no encontraron diferencias significativas en el NFP en pimiento, esto al utilizar diferentes mallas de colores y producción sin malla.

Efecto de los ecotipos

Todas las variables de crecimiento mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los ecotipos analizados (Cuadro 4). El ecotipo RTZ tuvo el mejor desempeño en ocho de las nueve variables (AP, DBT, DAF, RPF, NFP, DF, NS y LE), mientras que SAC tuvo el peor desempeño en casi todas las variables. La comunidad de procedencia de este último se encuentra a 365 m de altitud, la cual es mucho menor que la del lugar donde se estableció el experimento (1580 m de altitud); en tanto que el lugar de procedencia del ecotipo RTZ está a 2060 m de altitud, lo que pudo influir

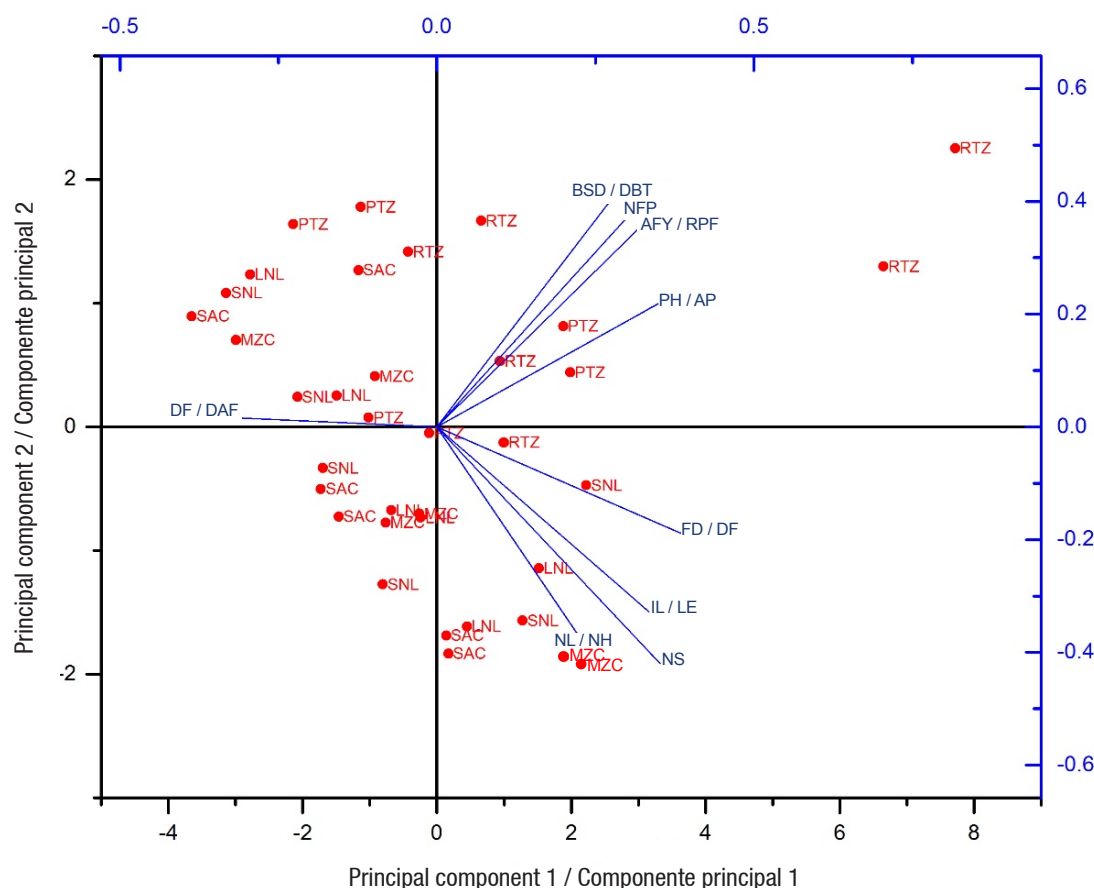


Figure 3. Graph of the principal components of the analyzed variables and ecotypes.

PH = plant height; BSD = basal stem diameter; DF = days to flowering; AFY = average fruit yield; NFP = number of fruits per plant; FD = fruit diameter; NS = number of seeds; IL = internode length; NL = number of leaves; RTZ = Rio Tuxpan, Zacatecas; PTZ = Puente Tepetatilla, Zacatecas; LNL = Linares, Nuevo León; MZC = Múzquiz, Coahuila; SNL = Santiago, Nuevo León; SAC = San Alberto, Coahuila.

Figura 3. Gráfica de componentes principales de las variables analizadas y ecotipos.

AP = altura de planta; DBT = diámetro basal de tallo; DAF = días a floración; RPF = rendimiento promedio de fruto; NFP = número de frutos por planta; DF = diámetro de fruto; NS = número de semillas; LE = longitud de entrenudos; NH = número de hojas; RTZ = Rio Tuxpan, Zacatecas; PTZ = Puente Tepetatilla, Zacatecas; LNL = Linares, Nuevo León; MZC = Múzquiz, Coahuila; SNL = Santiago, Nuevo León; SAC = San Alberto, Coahuila.

without cover. In this same variable, the RTZ ecotype was higher (27.38 %) than the SAC ecotype (Table 5).

The yield, size and quality in *Capsicum*, caused by the shading effect, depend largely on the geographical area and production technology (Zhu, Peng, Liang, Wu, & Hao, 2012). In general, the RTZ and MZC ecotypes had the largest FD (40.59 and 20.48 %, respectively) and NS (46.52 and 46.04 %, respectively), compared to the SAC ecotype (Table 5). Salinas-Hernández, Liévano-Liévano, Ulín-Montejo, Mercado, and Petit-Jiménez (2010) also obtained greater length, FD and NS in two types of wild amashito pepper (“Pico de Paloma” and “Garbanzo”), when compared with other types of pepper evaluated.

Santos and Salame-Donoso (2012) found that the use of 35 % shading in southern highbush blueberry (*Vaccinium*

en la adaptación a las condiciones del experimento. No obstante, esto no coincide con lo reportado por Martínez-Sánchez, Pérez-Grajales, Rodríguez-Pérez, y Moreno-Pérez (2010), quienes recolectaron especies silvestres de *Capsicum annuum* en altitudes de 940 a 1600 m, y las evaluaron a 2247 m sin encontrar diferencias estadísticas significativas entre especies en las variables AP, DBT, NFP y tamaño de estos.

El ACP no reveló agrupaciones concretas de los ecotipos, lo cual sustenta la idea de que el ambiente también juega un papel relevante en la dispersión de los datos; sin embargo, se observaron algunas tendencias, por ejemplo, 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, NFP, AP y DBT. Además, este ecotipo presentó mayor AP (46.5 %)

oxycoccus) cultivation increases flowering, fruit weight and yield, in contrast to open field production. On the other hand, Nooryazdan, Serieys, Baciliéri, David, and Bervillé (2010) report that differences in morphological traits, when evaluating 77 populations of wild *Helianthus annuus* collected in the United States, were correlated with the climatic variables of the sites of origin of the populations, which suggests adaptation to the local conditions of the evaluated species.

Effect of the interaction

Two-way analysis of variance revealed that the interaction between the covers used and the ecotypes had a significant effect on all variables. This coincides with the findings of Hernández-Verdugo et al. (2015), who report significant differences in all phenotypic characteristics evaluated in wild pepper under different shade levels. In general terms, it can be pointed out that the use of white shading nets provides better results in the variables analyzed in all the ecotypes (Table 5), and that the RTZ ecotype presents the best values in all the covers used.

Analysis of the vectors revealed that a certain group of variables had a high correlation with each other (BSD, AFY, PH and NFP) (Figures 2 and 3). These results are similar to those reported by Meena-Prakash and Bahadur (2015) for PH and NFP, and by Ogwulumba and Ugwuoke (2013) for NL and NFP. On the other hand, the variables FD, IL, NS and NL formed another group, which showed little correlation with the previous group.

Meena-Prakash and Bahadur (2015) indicate that PH showed a significant negative correlation with respect to fruit weight and polar diameter, which reveals that at a higher PH, fruit weight and diameter decrease, while the DF variable presented a negative correlation with all variables, which indicates that the higher the number of DF, the lower the performance of the other variables. In this study, biplot analysis revealed that all variables, except DF, are positively related to crops under white or blue nets (Figure 2); that is, crops under those covers had the best results in almost all variables. In terms of ecotypes, RTZ was positively related to the variables BSD, AFY, PH and NFP (Figure 3).

The DF variable in open field and greenhouse (Figure 2) reveals that plants grown under these conditions take longer to present flowers and have a lower performance in the rest of the variables. The same happened in all ecotypes when they were grown in the open field (Figure 3).

Conclusions

The use of covers reduced PAR, which had a positive effect on plant morphology. White and blue nets

and DBT (34.5 %) en comparación con el ecotipo SAC (Cuadro 5), y exhibió mayor precocidad (DAF), 14 días antes que el ecotipo más tardío (LNL), y 95 % más frutos por planta en comparación con el mismo ecotipo (Cuadro 5).

Por otro lado, la malla azul aumentó la precocidad a la floración en casi 18 días con respecto al campo abierto, además de ser la mejor cubierta en cuanto a LE con 62.81 % más que la producción sin cubierta. En esta misma variable, el ecotipo RTZ fue mayor (27.38 %) al ecotipo SAC (Cuadro 5).

El rendimiento, tamaño y calidad en *Capsicum*, provocados por el efecto de sombreado, dependen en gran medida del área geográfica y la tecnología de producción (Zhu, Peng, Liang, Wu, & Hao, 2012). En general, los ecotipos RTZ y MZC presentaron el mayor DF (40.59 y 20.48 %, respectivamente) y NS (46.52 y 46.04 %, respectivamente), en comparación al ecotipo SAC (Cuadro 5). Salinas-Hernández, Liévano-Liévano, Ulín-Montejo, Mercado, y Petit-Jiménez (2010) también obtuvieron mayor longitud, DF y NS en dos tipos de chile amashito silvestre ("Pico de paloma" y "Garbanzo"), al compararlos con los demás tipos de chile evaluados.

Santos y Salame-Donoso (2012) encontraron que el sombreado al 35 % sobre el cultivo de arándano (*Vaccinium oxycoccus*) incrementa la floración, el peso del fruto y el rendimiento, en contraste con la producción en cielo abierto. Por otro lado, Nooryazdan, Serieys, Baciliéri, David, y Bervillé (2010) reportan que las diferencias 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 presenta un efecto significativo en todas las variables. Lo anterior coincide con lo mencionado por Hernández-Verdugo et al. (2015), quienes reportan diferencias significativas en todas las características fenotípicas evaluadas en chile silvestre bajo diferentes niveles de sombra. En términos generales, se puede señalar que el uso de malla sombra blanca proporciona mejores resultados en las variables analizadas en todos los ecotipos (Cuadro 5), y que el ecotipo RTZ presenta los mejores valores en todas las cubiertas utilizadas.

El análisis de los vectores reveló que cierto grupo de variables presentaron alta correlación entre sí (DBT, RPF, AP y NFP) (Figuras 2 y 3). Estos resultados son similares a los reportados por Meena-Prakash y Bahadur (2015), en AP y NFP, y por Ogwulumba y Ugwuoke (2013), para NH y

increased yield, number of fruits and their size, and the RTZ ecotype had the best results in all variables studied.

The combination of the RTZ ecotype with white netting was the one that improved the agronomic traits and yield in piquin pepper, so it can be considered as an alternative for the production of *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*, under similar conditions to those of this study.

Acknowledgments

The authors thank the *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* (UAAAN), the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) and the *Secretaría de Educación Pública* (SEP) through the *Programa para el Desarrollo Profesional Docente* (PRODEP) for their support in funding this project.

End of English version

References / Referencias

- Arthurs, S. P., Stamps, R. H., & Giglia, F. F., (2013). Environmental modification inside photoselective shade houses. *HortScience*, 48(8), 975-979. Retrieved from <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. Retrieved from <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. Retrieved from <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
- Bastías, R. M., Manfrini, L., & Grappadelli, L. C. (2012). Exploring the potential use of the photo-selective nets for fruit growth regulation in apple. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(2), 224-231. Retrieved from <http://www.bioline.org.br/pdf?cj12036>
- Casierra, P. F., Matallana, D., & Zapata, E. (2014). Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by coloured covers. *Healthy plants*, 66(4), 149-155. doi: 10.1007/s1034

NFP. Por su parte, las variables DF, LE, NS y NH formaron otro grupo, el cual presentó poca correlación con el grupo anterior.

Meena-Prakash y Bahadur (2015) indican que la AP mostró una correlación negativa significativa con respecto al peso del fruto y el diámetro polar de la fruta, lo que revela que a mayor AP, el peso y el DF disminuyen; mientras que la variable DAF presentó una correlación negativa con todas las variables, lo que indica que entre mayor sea el número de DAF, el desempeño en las otras variables es menor. En este estudio, el análisis biplot reveló que todas las variables, excepto DAF, están relacionadas positivamente con los cultivos bajo malla blanca o azul (Figura 2); es decir, los cultivos bajo esas cubiertas tuvieron los mejores resultados en casi todas las variables. En cuanto a los ecotipos, el RTZ se relacionó de modo positivo con las variables DBT, RPF, AP y NFP (Figura 3).

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

Conclusiones

El uso de cubiertas redujo la RFA, lo que tuvo un efecto positivo en la morfología de las plantas. Las mallas de color blanco y azul incrementaron el rendimiento, el número de frutos y el tamaño de estos, y el ecotipo RTZ fue el que presentó mejores resultados en todas las variables estudiadas.

La combinación del ecotipo RTZ con malla de color blanco mejoró los caracteres agronómicos y el rendimiento en chile piquín, por lo que se considera una alternativa viable para la producción de *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*, bajo condiciones similares a las de este estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen 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 Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por su apoyo brindado en el financiamiento de este proyecto.

Fin de la versión en español

- 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 area. *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(2), 23-30. Retrieved from <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(7), 891-900. Retrieved from <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
- Hashem, F. A., Medany, M. A., Abd, E. M., & Abdallah, M. M. F. (2011). Influence of green-house cover on potential evapotranspiration and cucumber water requirements. *Annals of Agricultural Science*, 56(1), 49-55. doi: 10.1016/j.aas.2011.05.001
- 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/botsci.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 screenhouse conditions. *HortScience*, 49(2), 166-172. Retrieved from <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. A., Nicolás-Santana, L., Ortiz-Hernández, Y. D., Morales, I., & Gutiérrez-Hernández, G. F. (2016). Crecimiento y contenido de aceite en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo mallas sombra de colores. *Interciencia*, 41(6), 428-432. Retrieved from <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 annum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16(3), 169-176. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.16.021
- 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., Baciliéri, 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(1), 27-39. doi: 10.1007/s10722-009-9448-9
- 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: 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 horticulturae*, 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., Medina-Martínez, T., & Villalón-Mendoza, H. (2003). Efecto del sombreado sobre el desarrollo y rendimiento de 10 colectas de chile piquín (*Capsicum annum* var. *aviculare*) en cuatro localidades del noreste de México. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3482/1773%201er%20Simposio%20de%20Chile%20Piqu%C3%ADn%2C%20Memoria.pdf?sequence=1>
- Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Castellanos-Cervantes, T., García-Hernández, J. L., Tarazón-Herrera, M. A., Moreno-Medina, S., & Gerlach-Barrera, L. E. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria and mycorrhizal on *Capsicum annum* 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 annum* L.) variedad *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 92-100. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093012>

- Salisbury, F., & Ross, F. (2000). *Fisiología de las plantas: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Spain: S.A. Ediciones Paraninfo.
- Santos, B. M., & Salame-Donoso, T. P. (2012). Performance of southern highbush blueberry cultivars under high tunnels in Florida. *HortTechnology*, 22(5), 700-704. doi: 10.21273/HORTTECH.22.5.700
- 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
- 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
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2004). *Software product support manual, ver. 9.2*. Cary, N. C.: Author.
- Steiner, A. A. (1973). The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. In: *Proceedings 3rd International Congress on Soils Culture*.
- Tanny, J. (2012). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26-43. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008
- Villalón-Mendoza, H., Medina-Martínez, T., Ramírez-Meraz, M., Solís-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, W. L. (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(6), 927-937. doi: 10.1016/S2095-3119(12)60083-5