

Impacto de cubierta, ecotipo y endomicorriza en morfología y calidad de chile piquín

Rosalinda Mendoza-Villarreal¹
Valentín Robledo-Torres¹
Miguel Ángel Pérez-Rodríguez¹
Reyna Roxana Guillén-Enríquez²
Víctor Martínez-Cueto¹
José Rafael Paredes-Jácome^{3§}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. (rosalindamendoza@hotmail.com; robledo3031@gmail.com; miguel_cbg@hotmail.com; vimarc59@yahoo.com.mx). ²Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. (reguillen@outlook.com). ³Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila México. CP. 25315.

§Autor para correspondencia: rafael.2893@hotmail.com.

Resumen

La investigación se realizó con ecotipos de chile piquín de Coahuila, Nuevo León y Zacatecas. Se evaluaron plantas de chile piquín del segundo año de producción. Se utilizaron dos ambientes: a) macro túneles de malla blanca, roja azul, negra tipo raschel con 30% de sombreo; y b) campo abierto con 100% de transmisión de luz. Se inocularon 50 esporas de un conglomerado de hongos micorrízicos arbusculares (*Glomus mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis coremioides* y *Gigaspora albida*), directamente al sistema radical. Se utilizó un arreglo factorial 5 x 6 x 2 (cubiertas, ecotipos y micorrizas) y su distribución fue un diseño bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó el rendimiento y algunos caracteres morfológicos como altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), longitud de raíz (LR), peso fresco de planta (PFP), peso fresco de planta (PSP), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR), rendimiento por planta (RPP). Los resultados indicaron que la malla blanca favoreció los caracteres morfológicos de la planta con 320% en AP, 322.7% en DT, 235.8% la LR, 8 veces el PFP, 8.5 veces el PSP, 327.2% el PFR, 5 veces el PSR, 6.8 veces el RPP, en comparación a las plantas desarrolladas en campo abierto. Además, la calidad de chile piquín proporciona condiciones para el desarrollo de endomicorrizas (esporas y porcentaje de colonización). La malla azul con la menor radiación fotosintéticamente activa (RFA) influyó positivamente en las variables agronómicas, de calidad y la inoculación (número de esporas y porcentaje de colonización). El ecotipo que influyó en los SST, VitC, fenoles y NE fue el de SNL y el RTZ en variables agronómicas y % colonización. La inoculación con el consorcio de micorrizas mejoró los caracteres agronómicos y calidad del fruto de chile piquín.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, calidad, malla sombra, radiación solar.

Recibido: enero de 2021

Aceptado: febrero de 2021

Introducción

El chile piquín (*Capsicum annuum* L.) es un recurso fitogenético ampliamente distribuido en México, dado su naturaleza la forma silvestre de esta especie es la que predomina, su fruto generalmente se obtiene por recolección en poblaciones silvestres, pero lo amenaza su diversidad genética (Pagán *et al.*, 2010). El chile piquín no ha sido domesticado completamente ya que presenta una baja germinación y variabilidad morfológica y genética (García-Federico *et al.*, 2010; Hernández-Verdugo *et al.*, 2015).

Los rendimientos de chile piquín son afectados por las condiciones ambientales, humedad en el suelo y la fertilización (Rodríguez *et al.*, 2005). En relación, a los factores ambientales se ha demostrado que la luz solar directa origina plantas más compactas, mientras que 80% de sombra las plantas crecen rápidamente y se vuelven más grandes. La respuesta de las plantas de *Capsicum* a diferentes condiciones de irradiancia puede variar según el cultivar. El fotoperiodo, calidad y cantidad de la luz solar coinciden, directamente, en la fotosíntesis de las plantas y demás características fenotípicas y funcionales (Peixoto *et al.*, 2014).

Las respuestas fenotípicas de las plantas ante condiciones variadas de luz no han sido aprovechadas adecuadamente para modificar las características morfo-fisiológicas de los cultivos y obtener un rendimiento y calidad deseada (Kelly *et al.*, 2015). El uso de mallas de colores es una alternativa para evitar la excesiva radiación como sucede con la malla roja, que proporciona 42.6% radiación solar total (350 a 1 050 nm) y la malla azul 36% más luz azul (400 a 500 nm) que la malla negra (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015). Estas diferencias en la radiación pueden causar respuesta diferencial en la fotosíntesis y fotomorfogénesis que producen efectos sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y metabolitos secundarios. En pepino el uso de mallas de color rojo y azul incrementaron el rendimiento 48.1 y 46.1% respecto al testigo (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015).

Por otro lado, el uso de biofertilizantes en el cultivo de chile piquín ha demostrado efectos positivos en altura de planta, longitud de raíz, mayor biomasa seca en suelos salinos y no salinos (Rueda *et al.*, 2010). También se ha demostrado que los hongos micorrízicos presentan afinidad en diferentes especies de *Capsicum* como *annuum*, *bacatum*, *chinense*, *frutescens* y *pubescens* lo que confirma su efecto positivo (Cardona *et al.*, 2008).

Sin embargo, la aplicación de inóculos comerciales no asegura el efecto positivo en el sinergismo planta-hongo micorrízico, debido al uso indiscriminado de agroquímicos en los sistemas de producción tradicional (Koyama *et al.*, 2017; Caruso *et al.*, 2018). Además, en otros cultivos como el tomate se han utilizado micorrizas (*Glomus mossae* y *Glomus cubense*) en forma líquida (10 y 20 esporas) y sólida (20 y 40 esporas) y han producido resultados benéficos para la planta (Mujica *et al.*, 2012).

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto de la inoculación con endomicorrizas nativas de tres localidades del noreste del país bajo cubiertas fotoselectivas y campo abierto en la morfología y calidad de chile piquín.

Materiales y métodos

El estudio se realizó, en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, ubicada a 25° 22' latitud norte y 101° 22' longitud oeste, a una altura de 1 580 msnm. Se colectaron seis ecotipos de chile piquín, denominados: MZC= Múzquiz, Coahuila; SAC= San Alberto, Coahuila; LNL= Linares, Nuevo León; SNL= Santiago, Nuevo León; PTZ= Puente Tepetatilla, Zacatecas y RTZ= Río Tuxpan, Zacatecas.

La siembra de semillas se realizó en cajas germinadoras a las cuales se les aplicó GA3 (500 ppm) para acelerar el proceso de germinación, después de un mes se trasplantaron las plántulas 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, como sustrato se utilizó turba de sphagnum (Pro Mix[®]) y perlita (Hortiperl[®]) en una proporción 2:1 (v/v). En el experimento se utilizaron estos ecotipos de chile en su segundo año de producción, se utilizaron distintos ambientes de luminosidad (color de cubierta): a) macro túneles de malla blanca (MA), roja (MR), azul (MA), negra (MN) tipo 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 2.3 m de alto; y b) campo abierto con el 100% de transmisión de luz.

El cultivo se fertilizó con solución nutritiva, al 25% en plántula, al 50% en desarrollo vegetativo, 75% en floración y 100% en fructificación. Al comienzo de esta evaluación se disminuyó el aporte de fósforo a 25%, con el fin de que las endomicorrizas presentaran sinergia con las raíces de las plantas. El aporte de agua se realizó de 0.5 a 2.5 L planta⁻¹ día⁻¹, con un sistema de fertirriego por estacas.

Las plantas se inocularon después del trasplante con (50 esporas) con un conglomerado de hongos micorrízicos arbusculares (*Glomus mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis coremioides* y *Gigaspora albida*), directamente al sistema radical, los cuáles fueron identificados mediante morfología comparada (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2018).

Estos factores fueron evaluados mediante un arreglo factorial 5 x 6 x 2 (color de cubiertas:5, ecotipos:6 y micorriza:2). El diseño experimental utilizado correspondió a un bloque al azar con cuatro repeticiones. Las variables microclimáticas como temperatura ambiental y humedad relativa fueron registradas 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 fueron realizadas diariamente entre las 07:00 y 19:00 h, en el centro de cada cubierta, en condiciones de cielo despejado.

Los caracteres morfológicos se evaluaron en tres plantas por repetición y tratamiento, los cuáles incluyeron: altura de planta (AP), realizada con cinta métrica, diámetro de tallo (DT), con un vernier digital (Digital Caliper[®]), se realizaron ocho cortes, para obtener el rendimiento promedio de fruto por planta, se pesaron con una báscula electrónica Rhino modelo Babol-100G con capacidad de 100 g y resolución de 0.01 g. El peso fresco (PFP) y seco (PSP) de planta 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 de estraza y sometidas a 65 °C durante 48 h 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), mediante el recuento en cada unidad, las evaluaciones se hicieron en todas las unidades experimentales. En variables de calidad se evaluaron tres muestras por tratamiento y repetición para, sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro digital HANNA 96-801, en el cual se colocó una gota de pulpa de fruto en la celda del aparato, obteniendo el contenido expresado en Brix. El contenido de ácido ascórbico (Vitamina C), en frutos se determinó por la metodología de la AOAC (2000).

El contenido de fenoles totales (FT) fue determinado de acuerdo a la metodología reportada por Kim *et al.* (2006), con algunas modificaciones las cuales se describen a continuación se pesaron 2 g de fruto de chile piquín fresco y se colocaron en 20 ml de metanol al 80%, durante 12 h a 4 °C, transcurrido el tiempo se centrifugó a 12 000 rpm durante 5 min, se tomó una alícuota de 200 μ l del sobrenadante mezclado con 150 μ l del agente Folin Ciocalteu 2 N, se le añadieron 2 ml de Na₂CO₃ al 2%, dejándolo incubar por 25 min y finalmente se leyó la absorbancia a 735 nm en espectrofotómetro (Bio-145025 BIOMATE 5 Thermo elctron Corporation), 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 (1965), 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 0.5 a 1.5 mg ml⁻¹. En variables de calidad las evaluaciones fueron por triplicado para cada tratamiento.

El número de esporas fue cuantificado por triplicado para cada tratamiento y repetición en 100 g de suelo con el método de tamizado húmedo y decantación (Genderman y Nicolson, 1963), la limpieza y tinción de raíces se realizó con el método de Phillips y Hayman (1970) y la colonización (McGonigle, 1990) 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 h a temperatura ambiente, posteriormente se enjuagaron con abundante agua corriente, se cubrieron con H₂O₂, durante 5 min, después se enjuagaron con agua corriente, se cubrieron las raíces con HCl al 10%, por 10 min, posteriormente se decantó el HCl y sin enjuagar las raíces, se les añadió la solución azul de tripano al 0.05% por 24 h a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo se eliminó el colorante con ayuda de un tamiz y se colocaron en lactoglicerol, finalmente se cortaron segmentos de 1 cm de raíz y se depositaron en un portaobjetos, se cubren y se observan en un microscopio óptico (Axio Scope A1, Carl Zeiss, Microscopy GmbH, Gotting, Germany). Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y la comparación de medias por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizándose el programa estadístico SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se midió la RFA observándose que la máxima radiación se encuentra entre 13 y 15 h, y en CA se presenta 95% mayor comparada con la MR quién capta una radiación entre 350 a 1 050 nm, con muy parecido comportamiento la MB y MN y la menor absorción se llevó a cabo con la MA cuya radiación se encuentra entre 400 y 500 nm (Ayala-Tafuya *et al.*, 2015). En cultivos de flores la malla negra reduce la RFA entre 55 y 60% dependiendo de la estación del año y la malla roja de 41 al 51% (Arthurs *et al.*, 2013).

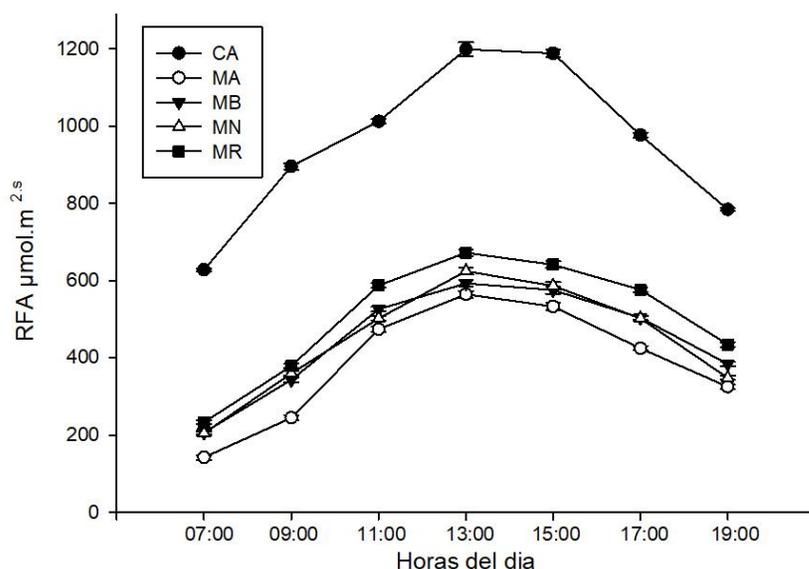


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa en campo abierto y mallas de colores en plantas de chile piquín.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de temperatura, siendo el mes con mayor registro el de mayo en campo abierto disminuyendo entre 1 y 2 grados hasta el mes de septiembre. También se observa que la MR que es muy similar en la temperatura comparada con CA y la MA disminuye de 2 a 5 grados en relación, a CA. En el mismo Cuadro 1 se observa que la HR se incrementó cada mes hasta llegar a su máximo en el mes de septiembre, también en CA se observan las mayores HR solo variando en septiembre con MA y MB.

Cuadro 1. Valores promedios mensuales de las variables climáticas monitoreadas en cada condición ambiental bajo campo abierto y mallas de colores.

Cubierta	Variable	Meses evaluados				
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
CA	T (°C)	26.98	25.56	23.34	22.86	20.74
	HR (%)	34.54	43.1	57.32	62.38	69.36
MA	T (°C)	21.45	22.34	21.55	19.33	18.44
	HR (%)	34.22	42.11	55.32	63.44	70.44
MB	T (°C)	22.13	23.11	22.11	20.55	18.98
	HR (%)	34.58	44.55	55.67	61.78	65.89
MN	T (°C)	22.33	22.41	22.15	20.77	20.11
	HR (%)	33.77	42.33	55.65	60.43	66.51
MR	T (°C)	23.78	24.51	23.11	21.52	20.17
	HR (%)	33.11	41.22	56.73	60.22	68.55

T= temperatura; HR= humedad relativa.

En el Cuadro 2 se registra que la MB favorece positivamente las variables agronómicas evaluadas con 320% en AP, 322.7% en DT, 235.8% la LR, 8 veces el PFP, 8.5 veces el PSP, 327.2% el PFR, 5 veces el PSR, 6.8 veces el RPP y 4.8 veces el NFPP comparadas con CA que fue el ambiente menos favorable, quizá en condiciones normales de crecimiento de plantas de chile piquín estas se encuentran bajo la sombra de un árbol o arbusto lo que impide la radiación directa. La MB refleja 70% de radiación permitiendo condiciones favorables para el crecimiento de la planta, la malla color perla aumentó su transmisión desde los 700 nm lo que favorece la fotosíntesis del pepino (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015) y en consecuencia el crecimiento de la planta a diferencia de lo reportado por Shahak *et al.* (2006) indicando que la producción se incrementó en tres cultivares de chile pimiento con la malla perla 16% y con malla roja un 32% en comparación con malla negra.

El ecotipo que favoreció las variables antes mencionadas fue RTZ, solo LNL incrementó la LR y MZC el PSR (Cuadro 2). Sin embargo, se ha reportado que cada morfotipo presenta diferente a las condiciones ambientales como sucede con los morfotipos de Oaxaca cuyas características fenotípicas son muy diferentes (Castellón Martínez *et al.*, 2014), a las de Nuevo León, Coahuila y Zacatecas utilizadas en este estudio. En el mismo Cuadro 2, se observa que la inoculación con micorrizas nativas tuvo respuesta favorable con el incremento de 53% en AP, en 32% DT, en 70.24% PFP, en 66.9% PSP, en R 72.2% y en NFPP en 28.8%. Lo que coincide con Cardona *et al.* (2008) quienes encontraron que las micorrizas arbusculares colonizan las raíces del género *Capsicum*, por eso se mejoraron los caracteres morfológicos de chile piquín.

Cuadro 2. Variables agronómicas de los diferentes factores evaluados en plantas de chile piquín.

Cubierta	AP (cm)	DT (mm)	LR (cm)	PFP (g)	PSP (g)	PFR (g)	PSR (g)	RPP (g)	NFPP
CA	22.94e	4.1f	15.1e	24.81e	11.34e	10.6e	4.36e	5.5f	36.52f
MN	44.62d	6.96e	28.44d	43.04d	19.56e	18.13d	7.21d	16.81d	80.1e
MR	53.69b	9.76b	29.79c	93.63b	36.59b	21.14c	11.74c	18.08c	113.08b
MA	47.25cd	9.39c	36.12a	64.13c	29.31c	24.31b	14.54b	22.8b	105.17c
MB	73.42a	13.23a	35.6ab	200.52a	96.71a	34.68a	21.32a	37.42a	177.08a
Ecotipo									
SAC	33.75e	6.9e	28.22e	44.85d	20.89e	19.45f	10.75d	7.09f	59.5f
MZC	42.35d	8.46c	28.28d	76.44c	34.71cd	24.37b	14.53a	26.08b	133.75b
PTZ	44.6cd	8.73c	27.8f	75.63c	32.01d	20.81c	11.24c	10.57d	70.9e
RTZ	71.25a	9.8a	29.13c	115.54a	48.73a	20.7d	10.35f	50.48a	169.31a
LNL	52.46b	9.29b	30.68a	87.44b	43.87b	25.15a	13.43b	11.93c	94.19c
SNL	46.08c	7.68d	29.73b	74.94c	37.16c	20.15e	10.7e	9.27e	78.1d
Consorcio									
SM	38.28b	7.31b	25.25b	58.57b	27.15b	18.03	9.05b	14.13b	88.24b
CM	58.56a	9.65a	32.69a	99.71a	45.3a	25.52a	14.62a	24.33a	113.68a
S	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	9.53	5.82	8.54	13.78	14.59	9.91	14.86	5.89	5.81

AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz; PFP= peso fresco de planta; PSP= peso seco de planta; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; RPP= rendimiento por planta; NFP= número de frutos por planta; RTZ= Río 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; MR= malla roja; MN= malla negra; CA= campo abierto; SM= sin micorriza; CM= con micorriza. Medias con la misma letra dentro de cada columna en cada factor no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). CV= coeficiente de variación. S= significancia; **= altamente significativo ($p \leq 0.001$).

En el Cuadro 3, se presentan las variables de calidad, se observa que para SST se incrementan en frutos con 32% con la MR y 37.6% en MB, la vitamina C (42.9%) y fenoles totales también con (44.31%) la MB y Capsaicina con MA 18.42% además del picor representado por unidades Scoville (SHU) en la MA, en el mismo Cuadro 3 los ecotipos que presentan diferencias estadísticas para SST son los ecotipo MZC y SNL. Para Vitamina C, el SAC y SNL, fenoles totales el SNL, para capsaicina y picor (US) el PTZ.

Cuadro 3. Variables de calidad de los factores evaluados en plantas de chile piquín.

Cubierta	SST (°Brix)	VitC (mg 100 g ⁻¹)	FT (µg EAG g ⁻¹)	CAPs (mg g ⁻¹)	U Scoville SHU
CA	6.41c	60.85f	34.77e	2.66d	42 560d
MN	6.69c	66.3e	37.09d	3.07b	49 120b
MR	8.46a	84.29b	42.42b	2.95c	47 200c
MA	7.52b	71.24c	43.05b	3.15a	50 400a
MB	8.82a	86.96a	50.18a	3.09ab	49 440ab
Ecotipo					
SAC	6.71c	82.98a	34.91d	2.98bc	47 680bc
MZC	8.57a	68d	37.47c	2.93c	46 880c
PTZ	8.31a	79.95b	37.54c	3.09a	49 440a
RTZ	7.4b	78.38c	46.28b	3.02b	48 320b
LNL	7.41b	82.97a	35.82d	2.93c	46 880c
SNL	8.39a	45.21e	55.37a	3.02b	48 320b
Consorcio					
SM	8.31a	72.27b	40.08b	2.92b	46 720b
CM	7.29b	73.56a	42.38a	3.07a	49 120a
S	**	**	**	**	**
CV (%)	5.09	0.85	5.79	3.98	3.98

SST= sólidos solubles totales; Vit C= vitamina C; FT= fenoles totales; CAPs= capsaicina; RTZ= Río 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; MR= malla roja; MN= malla negra; CA= campo abierto; SM= sin micorriza; CM= con micorriza. Medias con la misma letra dentro de cada columna en cada factor no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). CV= coeficiente de variación. S= significancia; **= altamente significativo ($p \leq 0.001$).

La aplicación de CM produjo mejores resultados en vitamina C (1%), fenoles totales (3.87%) y capsaicina (5.13%) incrementando los antioxidantes del fruto y el picor, solo en SST se obtuvo el 27% de incremento SM. En relación, a la calidad se realizó un estudio con diferentes morfotipos de chile como piquín y solterito los cuáles produjeron mayor contenido de fenoles y flavonoides además de capsaicina (Wei *et al.*, 2013), aunque no se añadieron micorrizas la tendencia de los morfotipos es producir mayor contenido de antioxidantes.

En el Cuadro 4, se encontró que al analizar por separado la cubierta la MB es la que incrementa en 96% el número de esporas y 101.4 el % de colonización. También se muestra que el ecotipo SNL incrementó el NE y RTZ el % col y en relación, a la inoculación con micorrizas nativas se favoreció el NE y % col en plantas de chile piquín. Esto concuerda con un estudio realizado en papaya al inocular con *Glomus* sp encontrando un incremento del porcentaje de colonización (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Variables microbiológicas de los factores evaluados en plantas de chile piquín.

Cubierta	NE	Col (%)
CA	23.33e	16.17c
MN	36.67b	23.67b
MR	31.15cd	25.67b
MA	35.83bc	25.92b
MB	45.73a	32.57a
Ecotipo		
SAC	29.27c	25.58ab
MZC	34.48ab	25.42ab
PTZ	34.79ab	23.42b
RTZ	35ab	27.58a
LNL	31.56bc	23.5b
SNL	37.19a	25.08b
Consorcio		
SM	5.38b	2.31b
CM	62.05a	47.89a
S	*	*
CV (%)	25.75	23.62

NE= número de esporas; Col= porcentaje de colonización; RTZ= Río 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; MR= malla roja; MN= malla negra; CA= campo abierto; SM= sin micorriza; CM= con micorriza. Medias con la misma letra dentro de cada columna en cada factor no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

El análisis de componentes principales (ACP), realizado para el tipo de cubierta y variables evaluadas Figura 3, mostró que la MB influyó positivamente en las variables RPP, PFR, AP, PSR, DT y NFPP, caso contrario a lo que se obtuvo con la MN y CA, mientras que la MA influyó en el contenido de Caps y LR, a su vez la MR promovió un aumento en las variables Vit C, SST, PFP y PSP, por lo cual el uso de diferentes cubiertas propician resultados diversos en morfología y calidad en plantas de chile piquín; concordando con lo reportado en pepino (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015) al trabajar con mallas de colores.

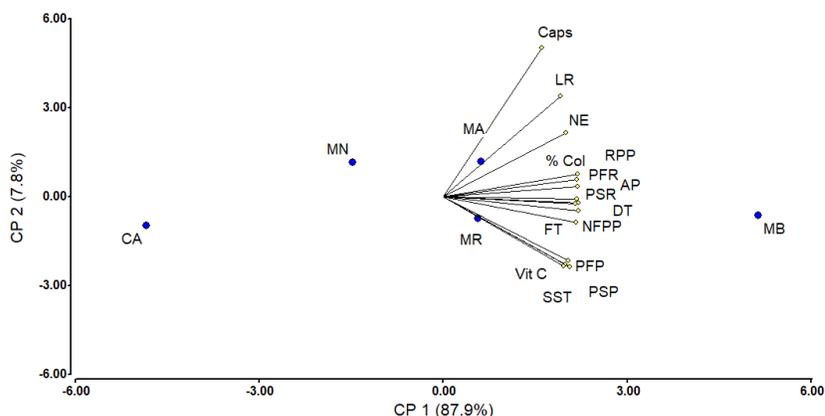


Figura 3. Componentes principales de las variables analizadas y tipo de cubierta. AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz; PFP= peso fresco de planta; PSP= peso seco de planta; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; RPP= rendimiento por planta; NFP= número de frutos por planta; SST= sólidos solubles totales; Vit C= vitamina C; FT= fenoles totales; CAPs= capsaicina; NE= número de esporas; % Col= porcentaje de colonización; MB= malla blanca; MA= malla azul; IN= invernadero; MR= malla roja; MN= malla negra; CA= campo abierto.

El ACP para ecotipos y variables evaluadas Figura 4, reveló un comportamiento disperso de los ecotipos evaluados; sin embargo, resalta que el ecotipo RTZ favorece las variables AP, PSP, RPP, NFPP, DT; mientras que los ecotipos SAC y PTZ no se ven favorecidos en esas variables, mientras que el ecotipo LNL favoreció el aumento en el PFR y PSR y a su vez los ecotipos MZC y SNL influyeron en las variables de calidad, Vit C, Caps y SST, lo que demuestra que el ecotipo juega un papel primordial en las variables que se evaluaron. Esto concuerda con Wei *et al.* (2013) al trabajar con diferentes morfotipos de chile en donde encuentra diferencias en el contenido de capsaicina y fenoles.

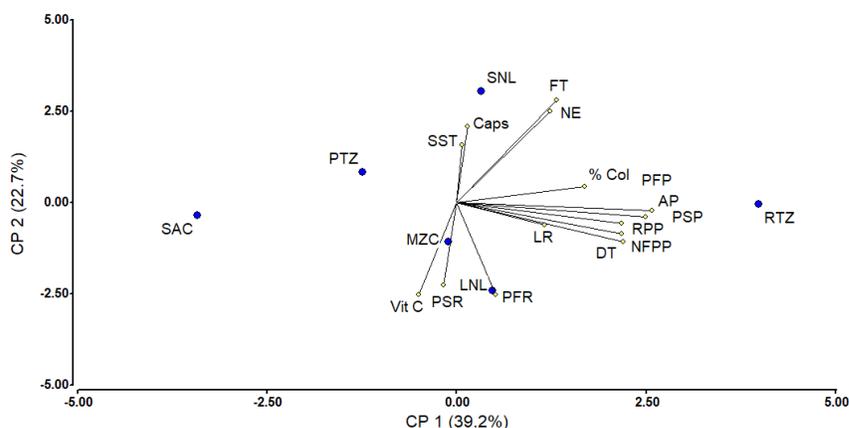


Figura 4. Componentes principales de las variables analizadas y el ecotipo. AP=altura de planta; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz; PFP= peso fresco de planta; PSP= peso seco de planta; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; RPP=rendimiento por planta; NFPP= número de frutos por planta; SST= solidos solubles totales; Vit C= vitamina C; FT= fenoles totales; CAPs= capsaicina; NE=número de esporas; % Col= porcentaje de colonización; RTZ= Río Tuxpan, Zacatecas; PTZ= Puente Tepetatilla, Zacatecas; LNL= Linares, Nuevo León; MZC= Múzquiz, Coahuila; SNL=Santiago, Nuevo León; SAC=San Alberto, Coahuila.

El ACP con la aplicación de micorrizas (CM) y la ausencia de estas (SM) con las variables estudiadas en la Figura 5, demuestra que hubo una fuerte relación en la mayoría de las variables evaluadas cuando se inocularon con micorrizas (*Glomus mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis coremioides* y *Gigaspora albid*), a excepción de Vit C y de la variable SST que se incrementó cuando no se aplicaron las micorrizas. Resultados similares se obtuvieron en tomate cuando se inoculó con *Glomus mossae* y *G. cubense* con 20 y 40 esporas al incrementar el rendimiento (Mujica, 2012).

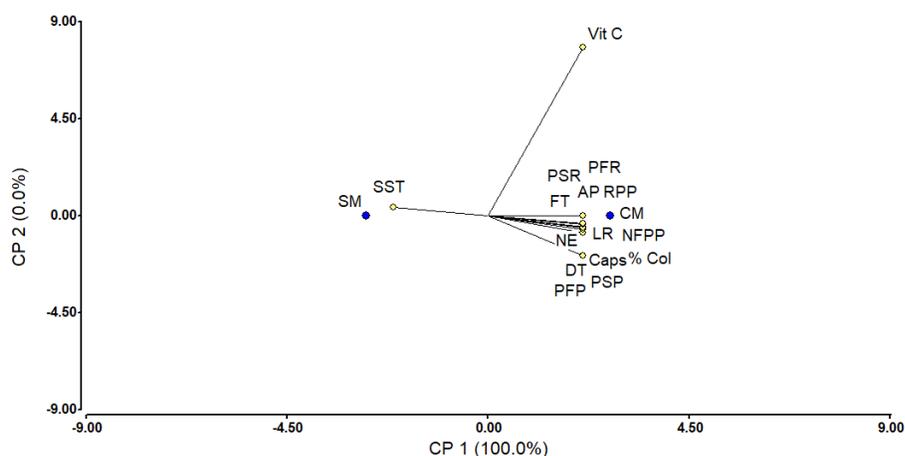


Figura 5. Componentes principales de las variables analizadas y Consorcio. AP= altura de planta; D= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz; PFP= peso fresco de planta; PSP= peso seco de planta; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; RPP= rendimiento por planta; NFP= número de frutos por planta; SST= sólidos solubles totales; VitC= vitamina C; FT= fenoles totales; CAPS= capsaicina; NE= número de esporas; % Col= porcentaje de colonización; SM= sin micorrizas; CM= con micorrizas.

Conclusiones

La malla azul con la menor RFA impactó positivamente en las variables agronómicas, de calidad y de respuesta al número de esporas y porcentaje de colonización. El ecotipo SNL influyó en variables de calidad como SST, Vit C y fenoles y NE y el RTZ en variables agronómicas y % colonización. La inoculación con el consorcio de micorrizas produjo cambios favorables en los caracteres agronómicos y calidad del fruto de chile piquín.

Literatura citada

- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods, Assoc. Off. Anal. Chem. Int. (AOAC), Arlington, VA, USA. 2 000 p.
- Arthurs, P. S.; Stamps, R. H and Giglia, F. F. 2013. Environmental modification inside photosensitive Shadehouses. Hortscience. 48(8):975-979.
- Ayala-Tafoya, F.; Yáñez-Juárez, Z. M. G.; Partida-Ruvalcaba, L.; Ruiz-Espinosa, F. H.; Campos-García H.; Vásquez-Martínez, O.; Velázquez-Alcaraz, T. de J. y Díaz-Valdés. 2015. Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreo fotoselectivo. Información Técnica Económica Agraria. 111(1):3-17.

- Bennet, D. J. and Kirby, G. W. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Ame. J. Enology and Viticulture*. 16(3):144-158.
- Cardona, G.; Peña, C. y Arcos, A. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. *Agronomía Colombiana*. 26(3):459-470.
- Caruso, C.; Maucieri, C.; Barco, A.; Barbera, A. C. and Borin, M. 2018. Effects of mycorrhizal inoculation and digestate fertilisation on triticale biomass production using fungicide-coated seeds. *Irish J. Agric. Food Res.* 57(1):42-51.
- Castellón-Martínez, E.; Carrillo-Rodríguez, J. C.; Chávez-Servia, J. L. y Vera-Guzmán, A. M. 2014. Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton. Inter. J. Exp. Bot.* 83(2): 225-236.
- García-Federico, A. S.; Montes-Hernández, J. A.; Rangel-Lucio, E.; García-Moya. y Mendoza-Elos, M. 2010. Respuesta fisiológica de la semilla de chile piquín [*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(2):203-216.
- Gerdemann, J. W. and Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 46(2):235-244.
- Hernández-Verdugo, S.; González-Sánchez, R. A.; Porras, F.; Parra-Terraza, S.; Valdez-Ortiz, A.; Pacheco-Olvera, A. and López-España, R. G. 2015. Phenotypic plasticity of populations of wild chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) in response to light availability. *Bot. Sci.* 93(2):231-240.
- Kelly, J. W. G.; Landhäuser, S. M. and Chow, P. S. 2015. The impact of light quality and quantity on root-to-shoot ratio and root carbon reserves in aspen seedling stock. *New Forests*. 46(4):527-545.
- Kim, H. J.; Chen, F.; Wang, X. and Rajapakse, N. C. 2006. Effect of ethyl jasmonato on secondary metabolites of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) *J. Agric. Food Chem.* 54(6):2327-2332.
- Koyama, A.; Pietrangelo, O.; Sanderson, L. and Antunes, P. M. 2017. An empirical investigation of the possibility of adaptability of arbuscular mycorrhizal fungi to new hosts. *Mycorrhiza*. 27(6):553-563.
- McGonigle, T. P.; Miller, M. H.; Evans, D. G.; Fairchild, G. L. and Swan, J. A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115(3):495-501.
- Mujica, P. Y. 2012. Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) por dos vías diferentes en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*. 33(4):71-76.
- Pagán, I.; Betancourt, M.; Miguel, J.; Piñero, D.; Fraile, A. and García-Arenal, F. 2010. Genomic and biological characterization of chiltepín yellow mosaic virus, a new tymovirus infecting *Capsicum annuum* var. *aviculare* in Mexico. *Archives of Virology*. 155(5):675-684.
- Peixoto, B. V.; Pereira, C. C. M. A. e Ferreira, R. R. 2014. Emergência e crescimento inicial de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo em ambientes contrastantes de luz. *Revista Árvore*. 38(3):523-531.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55(1):158-161.

- Quiñones-Aguilar, E. E.; López-Pérez, L.; Hernández-Acosta, E.; Ferrera-Cerrato, R y Rincón-Enríquez, G. 2014. Simbiosis micorrízica arbuscular y fuentes de materia orgánica en el crecimiento de *Carica papaya* L. *Interciencia*. 39(3):198-204.
- Rodríguez, L. A.; Sánchez, R. D. L. C. and Silva, M. M. S. 2005. Effect of sunlight regimes on growth and yield of piquin pepper (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare*). *Rev. Chapingo Ser, Hortic.*11(2):357-359.
- Rueda, P. E. O.; Murillo, A. B.; Castellanos, C. T. J. L. G. H.; Tarazón, H. M. A.; Moreno, M. S. and Gerlach, B. L. E. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria and mycorrhizal on *Capsicum annuum* L. *aviculare* ([Dierbach] D'Arcy and Eshbaugh) germination under stressing abiotic conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 48(8):724-730.
- Sánchez-Sánchez, A.; Salcedo-Martínez, S.; Mendoza-Villarreal, R.; Pinedo-Espinoza, J. and Moreno-Limón, S. 2018. Aislamiento e identificación de micorrizas arbusculares (MA) asociadas a la rizósfera del chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(4):86-91.
- Shahak, Y.; Ratner, K.; Giller, Y. E.; Zur, N.; Or, E.; Gussakovsky, E. E. and Greenblat-Avron, Y. 2006. Improving solar energy utilization, productivity and fruit quality in orchards and vineyards by photoselective netting. *In: XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Enhancing Economic and Environmental*. 772(1):65-72.
- Wei, Z. F.; Luo, M.; Zhao, C. J.; Li, C. Y.; Gu, C. B.; Wang, W.; Zu, Y. G.; Efferth, T. and Fu, Y. J. 2013. UV-Induced changes of active components and antioxidant activity in postharvest pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves. *J. Agric. Food Chem.* 61(6):1165-1171.