

## Rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares asociados con chile poblano en la Sierra Nevada de Puebla, México

Apolinar González Mancilla<sup>1§</sup>  
Juan José Almaraz Suarez<sup>2</sup>  
Ronald Ferrera Cerrato<sup>2</sup>  
María del Pilar Rodríguez Guzmán<sup>2</sup>  
Oswaldo Rey Taboada Gaytán<sup>3</sup>  
Antonio Trinidad Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 28, Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (jalmaraz@colpos.mx; ronaldfc@colpos.mx; trinidad@colpos.mx; pilarrg@colpos.mx). <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. (toswaldo@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: gonzalez.apolinar@colpos.mx.

### Resumen

En las partes bajas de la Sierra Nevada, Puebla, México, pequeños agricultores cultivan chiles tradicionales en la cocina mexicana, el chile poblano. La variabilidad en las prácticas agrícolas y las características del suelo, conducen a diversos microambientes de producción, originando una variación de los microorganismos benéficos. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar las poblaciones microbianas [hongos totales (HT), bacterias totales (BT), bacterias solubilizadoras de fosfato (BSP), bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), bacterias productoras de auxinas (BPA) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA)] y la producción de frutos en plantaciones de chile poblano cultivado en campo abierto. Mediante diluciones seriadas y siembra en medios específicos se cuantificaron HT, BT, BSP, BFN y BPA. La colonización por HMA se determinó por el método de clareo y tinción con azul tripano. Las poblaciones más altas de BT y BPA fueron encontradas en el sitio siete (Huejotzingo), suelo con alto contenido de fósforo (428.8 mg kg<sup>-1</sup>), los HT, BSP y BFN fueron mejores en el sitio uno (San Matías Tlalancaleca), éste sitio no tiene las mejores características del suelo, pero si mayor altitud, que se correlacionó positivamente con estos microorganismos. La colonización micorrízica fue mejor en el sitio nueve (Huejotzingo), suelo con bajo contenido en fósforo (44.3 mg kg<sup>-1</sup>) y pH moderadamente alcalino (7.6). El rendimiento de frutos fue más alto en el sitio 8 (Huejotzingo), que presentó mayor contenido de materia orgánica (1.48%) y nitrógeno total (0.07%) en suelo.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fosfatos, bacterias productoras de auxinas.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: marzo de 2018

## Introducción

El chile poblano en el estado de Puebla representa una antigua tradición cultural por su importancia gastronómica, económica y social, al asociarse con platillos como “chiles en nogada” y “mole poblano” (Cyphers *et al.*, 2009). Se produce principalmente en la Sierra Nevada, en municipios como San Matías Tlalancaleca, San Lorenzo Chiahutzingo, San Rafael Tlanalapa, Moyozingo, Huejotzingo y San Lucas (Huerta *et al.*, 2007). En 2007, el estado de Puebla presentó una superficie cultivada con chile Poblano de 600 ha y una producción de 4 800 t (SDR Puebla, 2007), al respecto Rodríguez *et al.* (2007) mencionan que la producción de chile poblano, ha disminuido de 25 t ha<sup>-1</sup> a menos de 10 t ha<sup>-1</sup> en los últimos 10 años.

La disminución en la producción de chile poblano está asociada a diversos factores, y destacan la “secadera” y “ahogamiento” causada por *Phytophthora capsici*, *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Alternaria* spp. la marchitez causada por el nemátodo *Nacobbus aberrans*, causando pérdidas de hasta 100% del cultivo, sea en invernadero, en campo o en almacigo (Rodríguez *et al.*, 2007; Bautista-Calles *et al.*, 2010). Además, se suman factores como las enfermedades virales y daños físicos al cultivo ocasionada por insectos (áfidos, ácaros y trips) (Huerta *et al.*, 2007), así como la disponibilidad de nutrimentos y agua (Mena-Violante *et al.*, 2006). Según Huerta *et al.* (2007) el chile poblano de la Sierra Nevada se adapta mejor a suelos con textura areno-limosa que en suelos arcillosos por lo que deben evitarse los excesos de humedad.

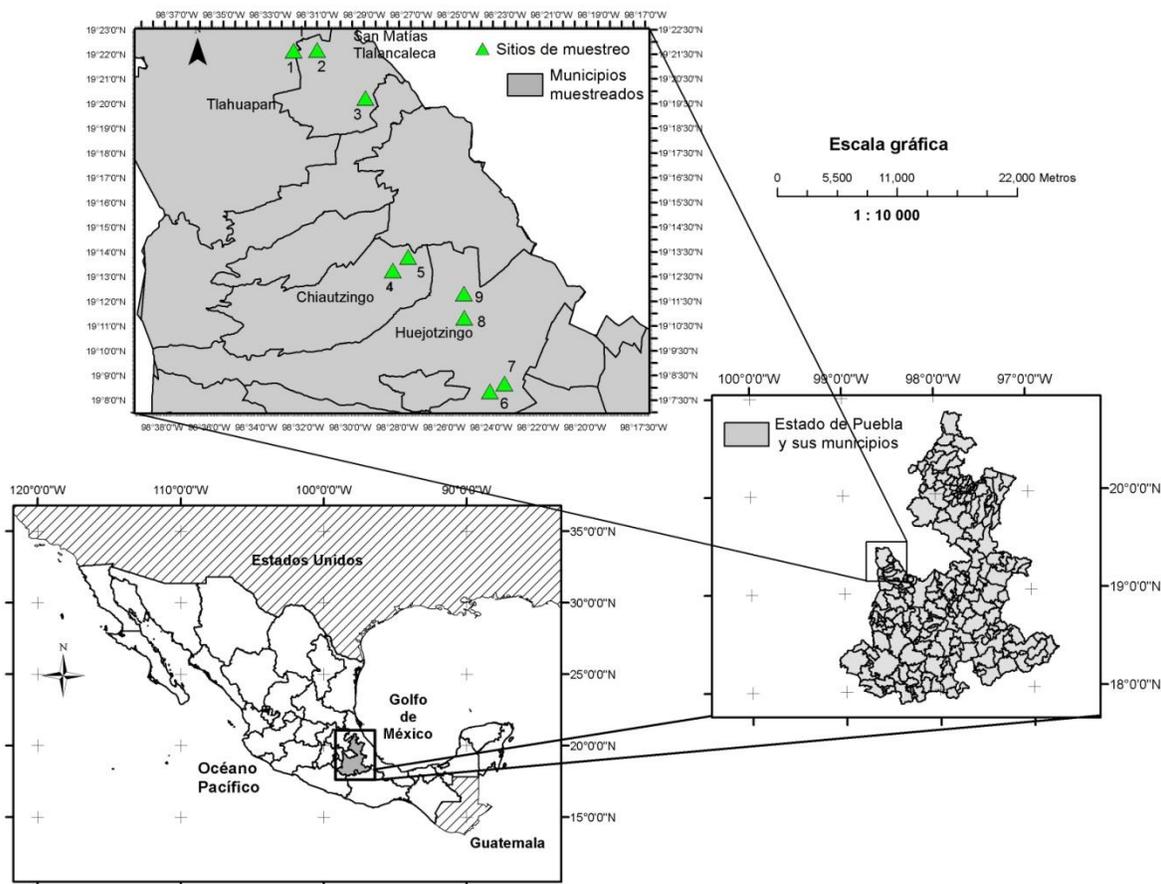
Según la clasificación de la FAO, los suelos que predominan en el área de estudio son de tipo regosoles, cambisoles, feozems y fluvisoles (INEGI, 2017), a diferencia de los dos primeros, los suelos tipo feozem y fluvisol presentan niveles altos y moderados de materia orgánica (FAO, 2006; Galicia *et al.*, 2015). Niveles altos de materia orgánica induce a una mayor fertilidad del suelo, debido a los altos contenidos nutrimentales y carbono orgánico; este último, como fuente de energía, permite mayor diversidad de bacterias, hongos, nematodos, lombrices de tierra, insectos y artrópodos que interactúan sinérgicamente en el ecosistema (Mader *et al.*, 2002; Oehl *et al.*, 2002). Pero cuando la materia orgánica es baja se tiene un carbono orgánico bajo, poca fertilidad y mayor ataque por fitopatógenos al utilizar los cultivos como su fuente de alimentos, según Ghorbani *et al.* (2010), la fertilización nitrogenada en suelos con baja cantidad de materia orgánica, favorece el desarrollo de patógenos como *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp., *Sclerotium* sp., etc.

El suelo es el sustrato físico para la vida de los animales terrestres (incluyendo al hombre) y un medio para el crecimiento de las plantas, amortigua los flujos de agua, en él ocurre la descomposición y liberación de nutrimentos y permite la regulación de las emisiones de los gases de efecto invernadero (Stott y Taylor, 2016). Los microorganismos que viven en el suelo están íntimamente asociados con todas estas funciones (Aislabie y Deslippe, 2013). La microbiota se encuentran en mayor densidad cerca de las raíces de las plantas, donde hay mayor disponibilidad de compuestos orgánicos exudados (Massenssini *et al.*, 2014), la calidad de estos exudados permite el reclutamiento de ciertos microorganismos que tendrán un efecto positivo, neutro o negativo sobre la planta, determinando potencialmente la composición de las comunidades vegetales (Wolfe y Klironomos, 2005).

Los grupos de organismos más estudiados son las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), debido a los beneficios que estas proporcionan a las plantas. Las RPCV proveen de nutrimentos a las plantas mediante la fijación y solubilización de elementos como el nitrógeno atmosférico, el fósforo y el potasio; inhiben el desarrollo de fitopatógenos y sintetizan reguladores del crecimiento como las auxinas, giberelinas y citoquininas (Hariprasad y Niranjana 2009; Sandhya *et al.*, 2010). Los HMA favorecen la absorción de agua y nutrimentos, e incrementan la tolerancia al estrés ocasionado por factores bióticos y abióticos (Perner *et al.*, 2007; Sawers *et al.*, 2008). El objetivo de la investigación fue cuantificar las poblaciones de RPCV y HMA en plantaciones de chile poblano cultivado a campo abierto y sus posibles efectos en el rendimiento del cultivo.

### Materiales y métodos

En septiembre de 2012 se colectó suelo rizosférico de chile poblano en nueve sitios de la región de la Sierra Nevada en el estado de Puebla, México. El muestreo incluyó campos de chile poblano de tres municipios: San Matías Tlalancaleca con tres sitios, cuyas altitudes fueron desde 2 414 a 2 467 msnm, San Lorenzo Chiautzingo con dos sitios de altitudes de 2 404 y 2 425 msnm, y Huejotzingo con cuatro sitios de altitudes que van de 2 284 a 2 313 msnm (Cuadro 1 y Figura 1).



**Figura 1. Ubicación geográfica de los nueve sitios donde se colectaron muestras de suelo rizosférico de chile poblano en la Sierra Nevada, Puebla, México.**

Se colectaron cuatro muestras por sitio, que incluían suelo y plantas de chile poblano seleccionadas visualmente por su mejor aspecto (sanidad y vigorosidad), éstos se conservaron en hielera para su traslado al laboratorio de microbiología del *Campus* Montecillo del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. En los sitios de muestreo los valores de pH (suelo, agua 1:2) fluctuaron entre 4.9 a 7.6. Los valores de materia orgánica (MO) fueron de 0.27 a 1.48%, el nitrógeno total (NT) de 0.01 a .07%, el fósforo (P) de 41.1 a 428.8 mg kg<sup>-1</sup> y de potasio (K) de 242 a 854 mg kg<sup>-1</sup>. La textura del suelo fue clasificado como franco arenoso en los sitios uno, tres, cuatro y cinco, franco arcillo arenoso para el sitio dos y arena francosa para los sitios seis, siete, ocho y nueve (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Características del suelo y localización de los sitios de estudio en la región de la Sierra Nevada de Puebla, México.**

Sitios	Localización	Altitud (m)	pH	MO	NT	P	K	Textura
San Matías Tlalancaleca								
1	19°22.313' N y 98°32.032' W	2467	5.5	0.27	0.01	184.7	412	FA
2	19°22.257' N y 98°31.924' W	2453	5.8	0.54	0.03	224	324	FAA
3	19°20.665' N y 98°29.209' W	2414	6.8	1.48	0.07	314.5	854	FA
San Lorenzo Chiautzingo								
4	19°13.440' N y 98°28.903' W	2425	6.9	0.94	0.05	153.7	546	FA
5	19°13.052' N y 98°28.261' W	2404	4.9	0.27	0.01	187.1	242	FA
Huejotzingo								
6	19°08.504' N y 98°24.700' W	2313	5.8	0.4	0.02	41.5	266	AF
7	19°08.968' N y 98°24.430' W	2292	6.7	0.94	0.05	428.8	508	AF
8	19°11.985' N y 98°25.711' W	2286	7.3	1.48	0.07	50.1	430	AF
9	19°12.295' N y 98°25.510' W	2284	7.6	0.67	0.03	44.3	410	AF

MO= materia orgánica (%); NT= nitrógeno total (%); P= fósforo (mg kg<sup>-1</sup>); K= potasio (mg kg<sup>-1</sup>); FA= franco arenoso; FAA= franco arcillo arenoso; AF= arena francosa.

Las muestras colectadas fueron procesadas en campana de flujo laminar en condiciones de asepsia. Se pesó 10 g de muestra y se depositó en botellas con 90 mL de agua destilada estéril (primera dilución) y a partir de ésta se hicieron diluciones decimales seriadas (hasta 10<sup>-4</sup>). En cajas Petri se sembró 0.1 mL de cada dilución y la alícuota fue distribuida sobre la superficie del medio sólido con ayuda de una varilla de vidrio en forma de L. Se usaron medios de cultivos específicos: agar nutritivo para bacterias totales (BT), Pikovskaya, para detectar bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSP), Rennie, para fijadoras de nitrógeno (BFN), Luria-Bertani (LB), para bacterias productoras de auxinas (BPA) y medio PDA (agar papa dextrosa) para hongos totales. Las colonias se cuantificaron después de tres días de incubación a 28 °C.

El número de frutos se cuantificó en plantas de chile poblano al momento de su colecta en campo, las raíces de las plantas colectadas de chile poblano se evaluó la colonización por HMA siguiendo el método de clareo y tinción con azul tripano (Phillips y Hayman, 1970), la colonización total (PCT) fue estimado en raíces de 1 cm de longitud expresado en porcentajes (Biermann y Linderman, 1981). Una parte del suelo rizosférico fue utilizado para la extracción y cuantificación de esporas de HMA mediante la técnica de tamizado y decantado en húmedo

(Gerdemann y Nicolson, 1963), expresado en 100 g de suelo seco (100 g). Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico SAS para Windows (SAS Institute Inc. 2002), realizando un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha= 0.05$ ).

## Resultados y discusión

Las poblaciones de microorganismos encontradas en cada sitio fueron estadísticamente diferentes (Tukey  $\alpha= 0.05$ ) (Cuadro 2). El sitio siete, cuya muestra fue colectada en el municipio de Huejotzingo, presentó las poblaciones más altas de BT ( $53 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$  de suelo) y BPA ( $92 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo), mientras que el sitio uno de San Matías Tlalancaleca tuvo las poblaciones más altas de hongos totales ( $82 \times 10^2$  UFC  $g^{-1}$  de suelo), BSP ( $46 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo) y BFN ( $36 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo). Las poblaciones más bajas fueron encontradas en los sitios uno para BT ( $10 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$  de suelo), nueve para HT ( $3 \times 10^2$  UFC  $g^{-1}$  de suelo), tres para BSP ( $1 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo), cinco y ocho para BPA ( $4 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  suelo), cinco y seis para BFN ( $10 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo) (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Unidades formadoras de colonias (UFC) cuantificadas en suelo rizosférico de chile poblano colectado en nueve sitios de la Sierra Nevada de Puebla, México.**

Sitios	BT	BFN	BSP	BPA	HT
	$10^5$ UFC $g^{-1}$ suelo		$10^4$ UFC $g^{-1}$ suelo		$10^2$ UFC $g^{-1}$ suelo
San Matías Tlalancaleca					
1	10.3 $\pm$ 2.2a	36 $\pm$ 13.2a	46 $\pm$ 13.7a	7 $\pm$ 1.7bc	82 $\pm$ 33.2a
2	11.2 $\pm$ 3.8a	18 $\pm$ 6.2ab	36 $\pm$ 22.5ab	6 $\pm$ 1.1bc	56 $\pm$ 12.8ab
3	16 $\pm$ 5.3a	11 $\pm$ 1.5b	1 $\pm$ 0.05c	22 $\pm$ 2.8b	26 $\pm$ 2.3bc
San Lorenzo Chiautzingo					
4	26.1 $\pm$ 1.6a	12 $\pm$ 2ab	8 $\pm$ 1.5ab	10 $\pm$ 2.2bc	7 $\pm$ 2.5c
5	20.4 $\pm$ 3.7a	10 $\pm$ 1.3b	20 $\pm$ 9.5ab	4 $\pm$ 0.8c	10 $\pm$ 2.5c
Huejotzingo					
6	27 $\pm$ 6.7a	10 $\pm$ 1.3b	26 $\pm$ 8.6ab	5 $\pm$ 1.8c	7 $\pm$ 2.7c
7	53.2 $\pm$ 27.4a	15 $\pm$ 2.7ab	6 $\pm$ 2.4b	92 $\pm$ 42a	19 $\pm$ 4.9bc
8	14.5 $\pm$ 1.2a	11 $\pm$ 1.2b	9 $\pm$ 1.3ab	4 $\pm$ 0.8c	6 $\pm$ 0.9c
9	16.4 $\pm$ 2a	14 $\pm$ 1ab	9 $\pm$ 0.7ab	11 $\pm$ 1.9bc	3 $\pm$ 0.7c

BT= bacterias totales; HT= hongos totales; BSP= bacterias solubilizadoras de fosfatos; BPA= bacterias productoras de auxinas y BFN= bacterias fijadoras de nitrógeno. Letras diferentes dentro de la misma columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $\alpha= 0.05$ , a>b). Medias n= 8,  $\pm$  error estándar.

Las densidades de HT, BFN y BSP presentaron correlación positiva y estadísticamente significativa ( $\alpha = 0.05$ ) con la altitud de los diferentes sitios estudiados (Cuadro 3), lo cual indica que las densidades de estas rizobacterias se vieron incrementadas en los sitios de mayor altitud. Además, la altitud se correlacionó negativamente con el pH, la materia orgánica y el contenido de nitrógeno, y positivamente con el contenido de fósforo en suelo, factores que determinaron las altas densidades de los microorganismos en los sitios siete y uno. Las características del suelo influyeron en las poblaciones microbianas evaluadas, debido a que se observó correlación negativa y significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre la población de HT y el pH del suelo; correlación negativa y significativa ( $\alpha= 0.01$ ) entre las BSP y el pH, MO, NT y K y correlación positiva y significativa ( $\alpha= 0.01$ ) con las BPA y el contenido de P (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Correlaciones entre el número de microorganismos y las características del suelo en chile poblano colectado en nueve sitios de la Sierra Nevada de Puebla, México.**

	Altitud	pH	MO	NT	P	K	Frutos
BT	-0.191	0.047	0.025	0.059	0.231	0.028	0.016
HT	0.47**	-0.289*	-0.212	-0.206	0.22	0.007	0.108
BFN	0.248*	-0.134	-0.196	-0.202	0.067	-0.031	0.109
BSP	0.238*	-0.337**	-0.36**	-0.356**	-0.093	-0.298*	-0.086
BPA	-0.2	0.134	0.131	0.168	0.457**	0.181	0.102
CT	-0.693**	0.538**	0.066	-0.074	-0.246*	-0.039	0.248*
V	-0.157	-0.163	-0.186	-0.149	0.004	-0.196	-0.136
E	-0.325**	-0.077	-0.18	-0.116	0.364**	-0.266*	-0.455**
Altitud	1	-0.55**	-0.274*	-0.258*	0.255*	0.126	-0.142
Frutos	-0.142	0.65**	0.56**	0.561**	-0.11	0.46**	1

BT= bacterias totales; HT= hongos totales; BFN= bacterias fijadoras de nitrógeno; BSP= bacterias solubilizadoras de fosfato; BPA= bacterias productoras de auxina; CT= colonización total; V= vesículas; E= esporas; MO= materia orgánica (%); NT= nitrógeno total (%); P= fósforo (mg kg<sup>-1</sup>); K= potasio (mg kg<sup>-1</sup>). \*Correlación significativa  $\alpha= 0.05$  y \*\* $\alpha= 0.01$ .

Existen pocos estudios sobre la altitud y su influencia en la distribución de los microorganismos del suelo son contradictorios, y han sido relacionados con los factores del clima, del suelo, la vegetación y los factores bióticos (Hofmann *et al.*, 2016). Por ejemplo, la diversidad del *Phylum acidobacteria* disminuye a mayor altitud y es atribuido principalmente al pH del suelo (Bryant *et al.*, 2008). La abundancia bacteriana encontrada por Hofmann *et al.* (2016) disminuyó con la altitud, y le atribuye a la influencia que la altitud tiene sobre la temperatura y la materia orgánica del suelo. Weyens *et al.* (2009), mencionan que los microorganismos del suelo están influenciados principalmente por las características como la humedad, textura, pH, materia orgánica, contenido nutrimental, temperatura y salinidad; también pueden estar influenciadas por factores como la especie vegetal, edad y estado nutricional de la planta (Adeboye *et al.*, 2006).

Los ecosistemas del suelo son altamente complejos debido a la gran diversidad de especies microbianas que albergan, las cuales pueden ser perjudiciales o benéficas para las plantas. Los microorganismos benéficos, como los evaluados en este estudio, se clasifican como RPCV debido a las funciones que estos realizan, por ejemplo la fijación biológica del N<sub>2</sub> (BFN) y la solubilización del fósforo (BSP) para ponerlos a disposición de las plantas en forma de amonio y fosfatos inorgánicos (Herridge *et al.*, 2008, Restrepo-Franco *et al.*, 2015); además, promueven la producción de auxinas (BPA) que influyen directamente en el desarrollo de las plantas mediante la elongación y división celular, diferenciación de tejidos y la dominancia apical (Duca *et al.*, 2014). Adicionalmente, las RPCV permiten el control biológico de patógenos (Sandhya *et al.*, 2010), la degradación de la materia orgánica, la adaptación de las plantas a suelos contaminados, condiciones de sequía y valores extremos de pH (Saraf *et al.*, 2011) y la síntesis de reguladores de crecimiento como etileno, auxinas y giberelinas (Kim *et al.*, 2010).

Las raíces de las plantas de chile forman asociaciones simbióticas con los hongos micorrízicos arbusculares (Davies Jr *et al.*, 1992), lo cual se confirma en este estudio, ya que el chile poblano estuvo colonizado por los HMA entre 5 y 68%, existiendo diferencias estadísticas significativas entre los nueve sitios muestreados (Tukey  $\alpha=0.05$ ). La colonización más alta (68%) fue localizada en el sitio nueve, que corresponde a la colecta de suelo hecha en el municipio de Huejotzingo, el valor más bajo se encontró en el sitio cinco, municipio de San Lorenzo Chiautzingo (Cuadro 4). El porcentaje alto de colonización del sitio nueve, posiblemente esté relacionado con el bajo contenido de P ( $44.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) encontrado en el lugar, a diferencia del sitio cinco que fue mucho más alta ( $187.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Según Javaid (2009), los HMA colonizan eficientemente a las plantas cuando los suelos presentan bajos contenidos de fósforo.

**Cuadro 4. Colonización por HMA en plantas de chile poblano colectados en nueve sitios de la Sierra Nevada de Puebla, México.**

Sitios	Colonización total (%)	Vesículas (%)	Esporas 100 g ss	Frutos planta <sup>-1</sup>
San Matías Tlalancalca				
1	8 ±3cd	1 ±0.5b	195 ±12d	6 ±0.3ab
2	12 ±4cd	1.5 ±0.9ab	477 ±55bc	5 ±0.6ab
3	16 ±7cd	0.3 ±0.3b	235 ±60d	6 ±0.9ab
San Lorenzo Chiautzingo				
4	23 ±12bcd	0.7 ±0.7b	486 ±60bc	5 ±0.4ab
5	5 ±2d	0.3 ±0.3b	654 ±107b	0 ±0c
Huejotzingo				
6	44 ±2b	5.2 ±3.1a	447 ±34c	4 ±0.8b
7	43 ±5b	2.8 ±1.5ab	896 ±98a	4 ±0.8b
8	27 ±7bc	0.4 ±0.4b	355 ±24cd	7 ±0.9a
9	68 ±10a	0 ±0c	483 ±71bc	5 ±0.8ab

Letras diferentes dentro de la misma columna, presentan diferencias estadísticas significativas. Medias  $n=4 \pm$  error estándar (Tukey,  $\alpha=0.05$ ,  $a>b$ ).

La presencia de vesículas fue relativamente bajo, siendo el sitio seis con mayor presencia de estas estructuras micorrízicas con 5.2%, mientras que el sitio nueve no presentó vesículas. El mayor número de esporas en suelo fue encontrado en el sitio siete con 896 esporas en 100 g, mientras que en el sitio uno se encontró la menor cantidad con 195 esporas. La CT presentó correlación positiva y significativa ( $\alpha=0.01$ ) con el pH y el número de esporas con el P del suelo (Cuadro 3), mientras que la altitud influyó la CT y las esporas presentes de HMA al presentar correlación negativa y significativa ( $\alpha=0.01$ ), indicativo de que a mayor altitud se tiene menor colonización micorrízica. El P presentó correlación negativa con la CT y positiva con el número de esporas, lo que indica que a menor contenido de P mayor será la CT y a medida que se incrementa el P se aumentará el número de esporas.

Factores como el gradiente altitudinal, características físicas (textura, estructura, porosidad) y químicas del suelo (pH, materia orgánica, nutrientes) (Coutinho *et al.*, 2015) y las actividades humanas (Dumbrell *et al.*, 2010) influyen en la diversidad, colonización y número de esporas presentes de HMA. El manejo de los cultivos con fertilizantes o herbicidas afecta la simbiosis micorrízica (Pasaribu *et al.*, 2011), causando disminución en la diversidad y abundancia de esporas (Oehl *et al.*, 2004). En la región donde se cultiva chile poblano en el estado de Puebla, no se usan herbicidas, por lo que la variación en las poblaciones microbianas se debe a otros factores.

La simbiosis HMA-planta se estima que ocurre entre 70-90% de las especies de plantas terrestres, en ecosistemas agrícolas, como en este estudio, o en ecosistemas naturales (Smith y Reed, 2008; Zhu *et al.*, 2010). Los HMA son simbiosiontes obligados y adquieren carbono de sus plantas hospederas para completar su ciclo de vida (Bago *et al.*, 2000); a cambio, el hongo proporciona diversos beneficios para la planta, por ejemplo, aumento en la absorción de nutrimentos principalmente P, N y K (Perner *et al.*, 2007), Zn, Cu, Fe, S, Ca (Allen, 2009), Mg y B (Subramanian *et al.*, 2006; Altomare y Tringovska, 2011) y la tolerancia al estrés ocasionado por factores bióticos y abióticos (Sawers *et al.*, 2008).

La cantidad cuantificada de frutos por planta presentó diferencias estadísticas significativas (Tukey  $\alpha= 0.05$ ), siendo mejor el sitio ocho con siete frutos producidos por plantas en promedio, seguido de los sitios uno y tres con seis frutos, respectivamente. El sitio cinco no presentó frutos sanos debido a la presencia de enfermedades fungosas en el cultivo, lo que no permitió que se alcanzara la etapa fenológica de fructificación y desarrollo de fruto. La CT por HMA presentó correlación positiva y significativa ( $\alpha= 0.05$ ) con la producción de frutos por planta, indicativo que a mayor CT mayor será el rendimiento de frutos; sin embargo, las características del suelo también influyeron en esta variable, ya que las plantas con mayores frutos producidos se encontraron en aquellos sitios con mejores características de pH, MO, NT y K, obteniéndose correlación significativa ( $\alpha= 0.01$ ) de estas variables con el fruto producido por planta (Cuadro 3).

El rendimiento en frutos, encontrado en cada uno de los sitios fue afectado por las características del suelo (pH, MO, NT y K), que a su vez fueron afectados por la altitud de los sitios. El número de frutos obtenidos no fue muy alto debido a que el muestreo se realizó antes de que la planta completara su ciclo reproductivo, no obstante, en todos los sitios el estado fenológico en el que se encontraban los cultivos de chile poblano era muy similar, lo que permitió valorar en gran medida la producción de frutos que se tenía por planta y comparar entre sitios.

## Conclusiones

El presente estudio realza la importancia del cultivo de chile poblano y su asociación con los microorganismos del suelo, principalmente de aquellos que son benéficos para el ecosistema suelo-planta. El gradiente altitudinal de los sitios, fue un factor determinante en las propiedades químicas del suelo y en la distribución de las comunidades bacterianas evaluadas en este estudio.

Los problemas que afronta el chile poblano en la Sierra Nevada pueden ser neutralizados mediante la disminución en el uso de productos químicos, que implicaría menos erosión del suelo y el mantenimiento de las colonias bacterianas, los cuales podrían favorecer el rendimiento del cultivo. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para seleccionar estos microorganismos benéficos y que al ser inoculados como biofertilizantes promuevan el crecimiento de la planta y su adaptación al campo, cuando estos son trasplantados.

## Literatura citada

Adeboye, M. K. A.; Iwuafor, E. N. O. and Agbenin, J. O. 2006. The effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil chemical and microbial properties in a Guinea Savanna Alfisol of Nigeria. *Plant and Soil*. 281(1-2): 97-107.

- Aislabie, J. and Deslippe, J. R. 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. *In*: Dymond, J. R. (Ed.). Ecosystem services in New Zealand - conditions and trends. Lincoln, New Zealand, Manaaki Whenua Press. 112-161 pp.
- Allen, M. F. 2009. Water Relations in the Mycorrhizosphere. *In*: progress in botany. Lüttge U.; Beyschlag, W.; Büdel, B. and Francis, D. (Eds). California USA: Springer Berlin Heidelberg. Progress Bot. 70(1):257-276.
- Altomare, C. and Tringovska, I. 2011. Beneficial soil microorganisms, an ecological alternative for soil fertility management. *In*: genetics, biofuels and local farming systems. Lichtfouse, E. (Ed.). Sustainable Agriculture Reviews, Springer Netherlands. 7(1):161-214.
- Bago, B.; Pfeffer, P. E. and Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiol.* 124(3):949-958.
- Bautista-Calles, J.; García-Espinosa, R.; Montes-Belmont, R.; Zavaleta-Mejía, E.; Pérez-Moreno, J.; Ferrera-Cerrato, R.; García, C. R. y Huerta-Lara, M. 2010. Disminución de la marchitez del chile por introducción de antagonistas en cultivos de rotación. *Interciencia.* 35(9):673-679.
- Bierman, B. and Linderman, R. G. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. *New Phytologist.* 87(1):423-432.
- Bryant, J. A.; Lamanna, C.; Morlon, H.; Kerkhoff, A. J.; Enquist, B. J. and Green, J. L. 2008. Microbes on mountainsides: contrasting elevational patterns of bacterial and plant diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105:05-11.
- Coutinho, E. S.; Fernandes, G. W.; Berbara, R. L. L.; Valério, H. M. and Goto, B. T. 2015. Variation of arbuscular mycorrhizal fungal communities along an altitudinal gradient in rupestrian grasslands in Brazil. *Mycorrhiza.* 25(8):627-638.
- Cyphers, A.; Escalante, G. P.; García-Bárcena, J.; García, M. B.; López, L. L.; Matos, M. E.; Nalda, E.; Noriega, A. M. N.; Pacheco, J. E. y Uriarte, C. M. T. 2009. Los chiles de México catálogo visual. *Arqueología Mexicana.* Edición especial núm. 32. 90 p.
- Davies, Jr, F. T.; Potter, J. R. and Linderman, R. G. 1992. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. *J. Plant Physiol.* 139(3):289-294.
- Duca, D.; Lorv, J.; Patten, C. L.; Rose, D. and Glick, B. R. 2014. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie van Leeuwenhoek. J. Microbiol.* 106(1):85-125.
- Dumbrell, A. J.; Nelson, M.; Helgason, T.; Dytham, C. and Fitter, A. H. 2010. Idiosyncrasy and overdominance in the structure of natural communities of arbuscular mycorrhizal fungi: role of stochastic processes. *J. Ecol.* 98(2):419-428.
- FAO. 2006. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base referencial mundial del recurso suelo. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103.* IUSS, ISRIC, FAO, Roma, Italia. 117 p.
- Galicia, L.; Gamboa, C. A. M.; Cram, S.; Chávez, V. B.; Peña, R. V.; Saynes, V. y Siebe, C. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoam.* 34(1):1-29.
- 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.
- Ghorbani, R.; Koocheki, A.; Brandt, K.; Wilcockson, S. and Leifert, C. 2010. Organic agriculture and food production: ecological, environmental, food safety and nutritional quality issues. *in*: sociology, organic farming, climate change and soil science. Chapter 4. Sustainable Agriculture Reviews. 3(1):77-107.

- Hariprasad, P. and Niranjana, S. R. 2009. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant Soil*. 316(1-2):13-24.
- Herridge, D. F.; Peoples, M. B. and Boddey, R. M. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil*. 311(1-2):1-18.
- Huerta, P. A.; Fernández, R. S. y Ocampo, F. I. 2007. Manual de chile poblano, importancia económica y sociocultural. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Fundación Produce Puebla AC Altres costa- Amic. Primera edición. México. 80 p.
- Hofmann, K.; Lamprecht, A.; Pauli, H. and Illmer, P. 2016. Distribution of prokaryotic abundance and microbial nutrient cycling across a high-alpine altitudinal gradient in the Austrian Central Alps is affected by vegetation, temperature, and soil nutrients. *Microb. Ecol.* 72(3):704-716.
- INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Datos. México en cifras. Puebla. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=21>.
- Javaid, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. *J. Plant Nutr.* 32(10):1595-1618.
- Kim, K.; Yim, W.; Trivedi, P.; Madhaiyan, M.; Boruah, H. P. D.; Rashedul, M. I.; Lee, G. and Sa, T. 2010. Synergistic effects of inoculating arbuscular mycorrhizal fungi and *Methylobacterium oryzae* strains on growth and nutrient uptake of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Soil*. 327(1):429-440.
- Mader, P.; Fliebbach, A.; Dubois, D.; Gunst, L.; Fried, P. and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*. 296(5573):1694-1697.
- Massenssini, A. M.; Bonduki, V. H. A.; Melo, C. A. D.; Tótolá, M. R.; Ferreira, F. A. and Costa, M. D. 2014. Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. *Planta Daninha, Viçosa-MG*. 32(4):873-884.
- Mena, V. H.; Ocampo, J. O.; Dendooven, L.; Martínez, S. G.; González, C. J.; Davies, F. T. and Olalde-Portugal, V. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza*. 16(4):261-267.
- Oehl, F.; Sieverding, E.; Mäder, P.; Dubois, D.; Ineichen, K.; Boller, T. and Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*. 138(4):574-583.
- Oehl, F.; Oberson, A.; Tagmann, H. U.; Besson, J. M.; Dubois, D.; Mader, P.; Roth, H. R. and Frossard, E. 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutr Cycl. Agroecosyst.* 62(1):25-35.
- Pasaribu, A.; Mohamad, R. B.; Awang, Y.; Othman, R. and Puteh, A. 2011. Growth and development of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae* (Nicol. and Gerd.), inalachlor and glyphosate treated soils. *African Journal of Biotechnology*. 10(55):11520-11526.
- Perner, H.; Schwarz, D.; Bruns, C.; Mäder, P. and George, E. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization and two levels of compost supply on nutrient uptake and flowering of pelargonium plants. *Mycorrhiza*. 17(5):469-474.
- 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.

- Restrepo, F. G. M.; Marulanda, M. S.; de la Fe, P. Y.; Díaz-de la Osa, A.; Lucia, B. V. y Hernández, R. A. 2015. Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. CENIC Ciencias Biológicas. 46(1):63-76.
- Rodríguez, J.; Peña, O. B. V.; Gil, M. A.; Martínez, C. B.; Manzo, F. y Salazar, L. L. 2007. Rescate *in situ* del chile poblano en Puebla, México. Rev. Fitotec. Mex. 30(1):25-32.
- Sandhya, V.; Ali, S. Z.; Venkateswarlu, B.; Reddy, G.; Grover, M. 2010. Effect of osmotic stress on plant growth promoting *Pseudomonas* spp. Archives of Microbiology. 192(10):867-876.
- Saraf, M.; Kumar, J. C. and Patel, D. 2011. The role of ACC deaminase producing PGPR in sustainable agriculture. *In: plant growth and health promoting bacteria* (D. K. Maheshwari. (Ed.). Springer Berlin Heidelberg. Microbiol. Monographs. 18(1):365-385.
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. Software: the SAS System for Windows version 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC 25513, USA.
- Sawers, R. J. H.; Gutjahr, C. and Paszkowski, U. 2008. Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture. Trends Plant Sci. 13(2):93-97.
- SDR. 2007. Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla. Cadenas productivas agropecuarias y acuícolas del estado de Puebla. Primera edición. Gobierno del estado de Puebla. México. 97 p.
- Smith, S. E. and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. 3<sup>th</sup>. (Ed.). New York, USA. 800 p.
- Stott, M. B. and Taylor, M. W. 2016. Microbial ecology research in New Zealand. New Zealand J. Ecol. 40(1):12-28.
- Subramanian, K. S.; Santhanakrishnan, P. and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Sci. Hortic. 107(3):245-253.
- Wolfe, B. E. and Klironomos, J. N. 2005. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. BioSci. 55(6):477-487.
- Weyens, N.; van der Lelie, D.; Taghavi, S. and Vangronsveld, J. 2009. Phytoremediation: plant-endophyte partnerships take the challenge. Curr Opin Biotechnol. 20(2):248-254.
- Zhu, C. X.; Song, B. F. and Xu, W. H. 2010. Arbuscular mycorrhizae improve low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. Plant Soil. 331(1-2):129-137.