

**PERFIL FÍSICOQUÍMICO Y
MICROBIOLÓGICO DE TRES
DISTINTOS SUELOS FORESTALES Y
SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO
DE *Pinus devoniana* Lindl.**

**PHYSICOCHEMICAL AND
MICROBIOLOGICAL PROFILE OF
THREE DIFFERENT FOREST SOILS
AND EFFECT ON *Pinus devoniana*
Lindl. GROWTH.**

Enríquez-Velázquez, O.; R. Aguilar-Aguilar, E. Valencia-Cantero, y C. Velázquez-Becerra
PERFIL FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE TRES DISTINTOS SUELOS
FORESTALES Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus devoniana* Lindl.
PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROFILE OF THREE DIFFERENT
FOREST SOILS AND EFFECT ON *Pinus devoniana* Lindl. GROWTH.

PERFIL FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE TRES DISTINTOS SUELOS FORESTALES Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus devoniana* Lindl.

PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROFILE OF THREE DIFFERENT FOREST SOILS AND EFFECT ON *Pinus devoniana* Lindl. GROWTH

Enríquez-Velázquez, O.;
R. Aguilar-Aguilar,
E. Valencia-Cantero,
y C. Velázquez-Becerra

PERFIL FÍSICOQUÍMICO Y
MICROBIOLÓGICO DE
TRES DISTINTOS SUELOS
FORESTALES Y SU EFECTO
EN EL CRECIMIENTO DE
Pinus devoniana Lindl.

PHYSICOCHEMICAL AND
MICROBIOLOGICAL
PROFILE OF THREE
DIFFERENT FOREST SOILS
AND EFFECT ON *Pinus
devoniana* Lindl. GROWTH.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 44: 109-118. Julio 2017

DOI:

10.18387/polibotanica.44.8

O. Enríquez-Velázquez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera
Morelia, Michoacán, México
Tel.: 5.443.3223500 Ext. 3099, fax: 5.443.3260379

R. Aguilar-Aguilar

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Biología, Morelia, Michoacán, México

E. Valencia-Cantero

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,
Morelia, Michoacán, México

C. Velázquez-Becerra/cvelazquez@umich.mx

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera
Morelia, Michoacán, México
Tel.: 5.443.3223500 Ext. 3099, fax: 5.443.3260379

RESUMEN: Los pinos (*Pinus* spp.) son un grupo de árboles catalogados como el primer género en distribución y diversidad de especies. La alta variabilidad bioclimática de estos bosques puede modular y diferenciar el desarrollo vegetal. En ecosistemas forestales las comunidades microbianas son dependientes del sustrato y estacionalidad, pueden variar de un punto a otro, aun tratándose de un mismo sitio. Por esta razón, el objetivo del trabajo fue conocer cómo las características fisicoquímicas y microbiológicas de tres distintos suelos forestales afectaron el crecimiento de *Pinus devoniana* L. bajo condiciones *in vitro*. Para ello, se utilizaron semillas y suelo de tres diferentes bosques de pino, para su germinación y desarrollo hasta 45 días de edad. El perfil fisiológico de uso de fuente de carbono de las comunidades microbianas del suelo se analizó mediante Biolog EcoPlates. Los resultados mostraron un pH moderadamente ácido para los tres suelos de estudio (5.06 a 5.97 UPH). Además, se registró el fósforo en cantidades limitadas (< 0.5 mg kg⁻¹) en suelo de localidades como Pátzcuaro y Cherán. Por otro lado, el perfil fisiológico del suelo mostró ser diferente en los tres sitios con una marcada influencia en la arquitectura radical, concluyendo que dichos factores del suelo modificaron diferencialmente la longitud y peso de la raíz, pero sin influir en el desarrollo de la parte aérea de *P. devoniana* L.

Palabras clave: suelos forestales, nutrientes, comunidades microbianas.

ABSTRACT: The pines (*Pinus* spp.) are a group of trees cataloged as the first genus in distribution and species diversity. The high bioclimatic variability of these forests can modulate and differentiate plant development. In forest ecosystems, microbial communities are dependent on substrate and seasonality, they can vary from one point

to another. For this reason, in this work, the objective was known the physicochemical and microbiological characteristics of three different forest soils on the growth of *Pinus devoniana* L. under *in vitro* conditions. We used seeds and soil from three different pine forests, for germination and development to 45 days of age. The physiological profile of use carbon source in microbial communities' soil was analyzed by Biolog EcoPlates. The results exposed acidic pH for the three soils studied (5.06 to 5.97 UPH). In addition, phosphorus was found in limited quantities ($<0.5 \text{ mg kg}^{-1}$) in soil from Pátzcuaro and Cherán. However, the physiological profile of soil displayed different in three sites with clear influence in root architecture, concluding that these soil factors modified differentially the root length and weight, but without influencing the aerial part development in *P. devoniana* L.

Key words: soil forest, nutrients, microbial communities.

INTRODUCCIÓN

En los bosques de coníferas de México y gran parte de América los pinos (*Pinus* spp.) son clasificados el género de árboles que ocupan el primer lugar en distribución y también en diversidad de especies arbóreas, destacando su importancia económica y ecológica. En México y América Central se localizan alrededor de 46 especies, las cuales representan cerca del 50% del total a nivel mundial, se tienen especies como *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roetzl) Shaw, *Pinus rzedowskii* Madrigal y Caball. Del., *Pinus leiophylla* Schlecht y Cham., *Pinus teocote* Schlecht y Cham., *Pinus pseudostrobus* Lindley, *Pinus oocarpa* Schiede ex Schldtl., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus devoniana* Lindley (Dvorak *et al.*, 2009). La variabilidad climática, topográfica y biótica donde distribuyen los bosques de pino, puede llegar a modificar su desarrollo (Sánchez y Priego-Santander, 2011). Por ejemplo, las características fisicoquímicas del suelo aun tratándose de un mismo sitio pueden ser diferentes, la abundancia y disponibilidad materia orgánica puede modular y diferenciar el desarrollo vegetal, debido entre otras cosas al cambio en estructura del suelo, así como también influir en el perfil microbiológico principalmente de bacterias y hongos (Monson *et al.*, 2006). En sistemas de plantaciones forestales o reforestación factores como la estructura, textura o perfil microbiológico del suelo pueden determinar el éxito del rendimiento o sobrevivencia en campo de la planta, lo que se traduce en una pérdida económica.

Los microorganismos del suelo destacan por su elevada variabilidad y adaptabilidad a diversos hábitats, así como por su potencial para promover y modificar el desarrollo vegetal, debido a que participan en la descomposición de la materia orgánica, liberación de nutrientes minerales e influyen en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Nihorimbere *et al.*, 2011). En ecosistemas forestales, dicha variabilidad de las comunidades microbianas son también dependientes de la estacionalidad de la lluvia y disponibilidad de sustrato, demostrando que estos factores influyen fuertemente la estructura y microbiología del suelo (Priha *et al.*, 2001). Un trabajo realizado por Egamberdiyeva (2007) muestra el efecto de suelos con características arenosa arcillosa y cambisoles calcáreos más la adición de *Pseudomonas alcaligenes* PsA15, *Bacillus polymyxa* BcP26 y *Mycobacterium phlei* MbP18 sobre el crecimiento de *Zea mays* L. Este estudio muestra un resultado diferencial en el crecimiento de la planta dependiendo del tipo de suelo y la cepa presente, concluyendo que la presencia de microorganismos puede estar facilitando la solubilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. Por otro lado, en suelos forestales, factores con fuerte impacto sobre las propiedades fisicoquímicas y comunidades microbianas es el "cambio de uso de suelo", ya que atributos como el pH se pueden modificar (Lauber *et al.*, 2008). Tales respuestas no han sido bien estudiadas y caracterizadas, pero se conoce que la composición de las comunidades bacterianas y fúngicas está fuertemente correlacionada con las propiedades específicas del suelo. El pH y balance de fósforo pueden llegar a alterar el perfil de las comunidades microbianas; además, el pH también funciona como regulador de la composición bacteriana, mientras que la composición de las comunidades fúngicas están más estrechamente asociadas con cambios en el estado nutricional del suelo (Marschner *et al.*, 2004).

Hacen falta trabajos que contribuyan al aprovechamiento e integren el conocimiento sobre cómo las propiedades del suelo regulan en el crecimiento de las especies forestales, ya que la mayoría de estos estudios están enfocados en analizar la adaptación de los bosques al cambio climático o conservación y manejo de recursos genéticos forestales, el objetivo de este trabajo fue conocer cómo las características fisicoquímicas y microbiológicas de tres distintos suelos forestales pueden afectar el crecimiento de *P. devoniana* L., bajo condiciones *in vitro*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal

Para este trabajo se utilizaron semillas de *Pinus devoniana* L., las cuales fueron proporcionadas por el banco de germoplasma de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM 2015). Las semillas fueron colectadas (febrero-marzo del 2014) en la localidad de Pátzcuaro Michoacán, México, de nueve distintos árboles de entre 10 y 15 años de edad. Una vez colectadas fueron almacenadas a temperatura ambiente (23°C) y oscuridad hasta su uso.

Muestreo del suelo

Los suelos utilizados para este trabajo se colectaron en tres diferentes bosques de pino, en las localidades: Ciudad Hidalgo (CDH) (Latitud: 19°41'36,22"N y Longitud: 100°32'56,15"O), Pátzcuaro (PTZ) (Latitud: 19°29'17,39"N y Longitud: 101°36'33,31"O) y Cherán (CHE) (Latitud: 19°41'13,60"N y Longitud: 101°52'1,96"O) todas del estado de Michoacán, México. El muestreo se realizó de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2015), en donde se toman los primeros 30 cm de profundidad, obteniendo 10 kg de muestra. El 50% de la muestra colectada se destinó para el análisis cuantitativo de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro y zinc), contenido de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), porosidad y pH, los cuales fueron realizados por laboratorios CEMA (cemamexico.com), también de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Crecimiento *in vitro*

El restante 50% de la muestra colectada de suelo se utilizó para germinar y crecer plántulas de *P. devoniana* L., utilizando frascos de 500 mL de volumen, en los que se colocaron 300 g de suelo previamente tamizado (malla 2.38 mm), se utilizaron seis réplicas para cada tipo de suelo. Las semillas para este experimento fueron previamente desinfectadas superficialmente mediante el uso de hipoclorito de sodio v/v (Cloralex™, México) al 5% por ocho minutos, posteriormente se lavaron dos veces con agua destilada estéril, después se colocaron en etanol al 15% por dos minutos; finalmente, se lavaron tres veces con agua destilada estéril. En cada frasco se colocaron 20 semillas, al germinar el 50% se retiraron las semillas no germinadas y se estandarizó el experimento a 10 plántulas por frasco. El experimento se realizó en una cámara de crecimiento con luz (16 h/luz 8 h/oscuridad) y temperatura (23°C) controladas. A los 45 días de edad se tomaron datos dasométricos de las plántulas como longitud de la parte aérea (LPA), longitud de raíz (LR), peso fresco de la parte aérea (PPA) y peso fresco de raíz (PR).

Perfil fisiológico microbiano

Mediante el uso de Biolog EcoPlates (Biolog Inc., no. 1506, USA), se realizó el análisis del perfil fisiológico de acuerdo a lo establecido por Gryta *et al.* (2014) y especificaciones del fabricante. Se prepararon muestras con las colectas de suelo obtenidas con anterioridad con un gramo más 99 mL de agua destilada adicionada con peptona de caseína (5 g L⁻¹). Las muestras se dejaron en agitación y oscuridad (25°C /1 h), posteriormente se reposó por 20 min e inoculó cada pocillo de la placa con 150 µL, para después incubar en oscuridad (25°C/48 h). La actividad metabólica microbiana de acuerdo al uso de fuente de carbono, se cuantificó

espectrofotométricamente (590 nm) después de 48 h mediante la reducción de violeta de tetrazolio en formazán, usando un lector de microplacas (Epoch, BioTek^{MT}, USA) restando la absorbancia el pozo de control.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante la prueba estadística de *t* (*t* de Student) y un análisis de varianza (ANDEVA), seguido de una prueba de separación de medias de Duncan para comparaciones múltiples ($P < 0,05$). El análisis de componentes principales (ACP) se realizó a partir de las características fisicoquímicas y nutrientes del suelo, y los datos del perfil de uso de fuente de carbono por los microorganismos del suelo se utilizó para el análisis clúster de agrupación mediante el método de distancias euclidianas, usando el programa "Statsoft statistica v7".

RESULTADOS

Este estudio mostró, un pH moderadamente ácido en el suelo para los tres sitios (de acuerdo a la norma NOM-021-RECNAT-2000), con un rango entre 5.06 a 5.97. Las muestras de suelo (CDH, PTZ y CHE) también mostraron que la porosidad estuvo por arriba de 50 % (tabla 1), a su vez, los resultados también señalaron valores bajos de MO en suelo de PTZ (4.3%) y medios para CDH y CHE (MO 6.86 y 6.32 % respectivamente). También destaca que la CIC en suelo de CHE se obtuvieron valores de hasta 33.3 contra 21.5 para CDH y 23.5 (Cmol(+) Kg⁻¹) en PTZ.

Por su parte, los datos más destacados de los nutrientes encontrados en las muestras de suelo, tenemos que el fósforo se registró en cantidades limitadas <0,5 mg kg⁻¹ en suelo de PTZ y CHE. También destaca que el potasio y el calcio en suelo de Cherán (CHE) se encuentran en cantidades de hasta más del doble en comparación con las muestras de CDH (tabla 1). Por su parte, a excepción del hierro el resto de los nutrientes analizados se encuentran en cantidades muy cercanas entre las tres localidades.

Tabla 1. Características fisicoquímicas y nutrientes del suelo proveniente de las localidades Ciudad Hidalgo (CDH), Pátzcuaro (PTZ) y Cherán (CHE).

Localidad	Características fisicoquímicas				Nutrientes (mg kg ⁻¹)						
	pH (UPH)	MO (%)	CIC (Cmol(+) Kg ⁻¹)	(%)	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Hierro
CDH	5.06	6.86	21.5	52.6	2.130	1.3	358.8	2.0748	5.8071	22.7	15.009
PTZ	5.47	4.3	23.5	51.6	1.790	< 0.5	553.8	1.7394	4.9803	84.3	50.214
CHE	5.97	6.32	33.3	59.5	1.940	< 0.5	1.1505	4563	4.1496	45.6	43.212

El ACP, conforme a la agrupación de factores fisicoquímicos y nutrimentales de los suelos CDH, PTZ y CHE se determinó que presentan características diferentes (fig. 1A). Así mismo, en función del uso de fuente de carbono por parte de las comunidades microbianas del suelo entre los tres sitios CDH, PTZ y CHE, el análisis clúster de agrupación mostró una similitud entre CDH y PTZ, pero diferente al suelo de CHE (fig. 1B).

La LPA no mostró diferencias estadísticamente significativas entre suelos (fig. 2A), pero los datos de LR mostraron que el suelo influye sobre el desarrollo radical (en CHE y PTZ), aumentando su longitud (fig. 2B). También se encontró que el PPA en *P. devoniana* L. no fue estadísticamente diferente entre tratamientos (fig. 2C), por su parte, la figura 2D muestra un aumento del PR en plántulas crecidas sobre suelo de CHE (67.3 mg), estadísticamente diferente

a CDH (41.5 mg) y PTZ (46.8 mg). Finalmente, en la figura 2E-G se observó la arquitectura de raíz en las plántulas utilizadas, mostrándose una mayor longitud y densidad de raíces laterales en los tratamientos CHE y PTZ.

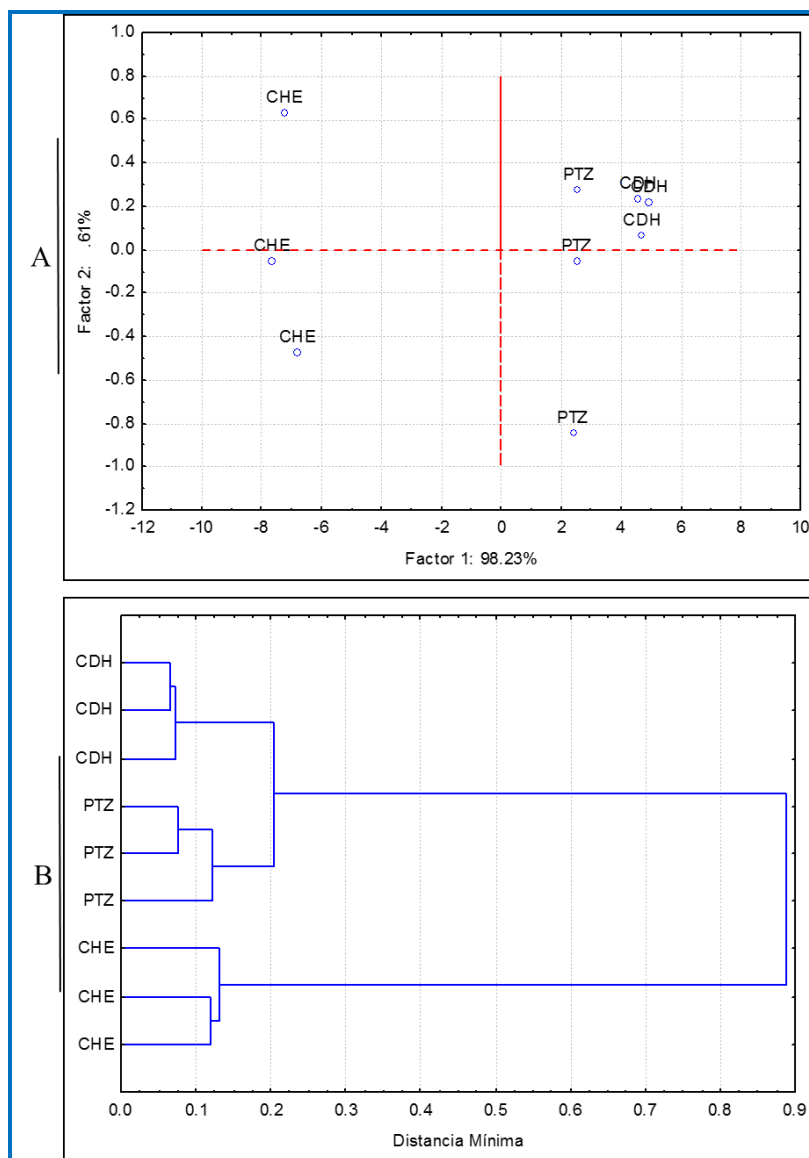


Fig. 1. El análisis de componentes principales (ACP) realizado a partir de las características fisicoquímicas y nutrientes del suelo (A), y análisis clúster de agrupación mediante el método de distancias euclidianas, realizado a partir del perfil de uso de fuente de carbono por los microorganismos del suelo (B), análisis realizados con el programa “Statsoft statistica v7”.

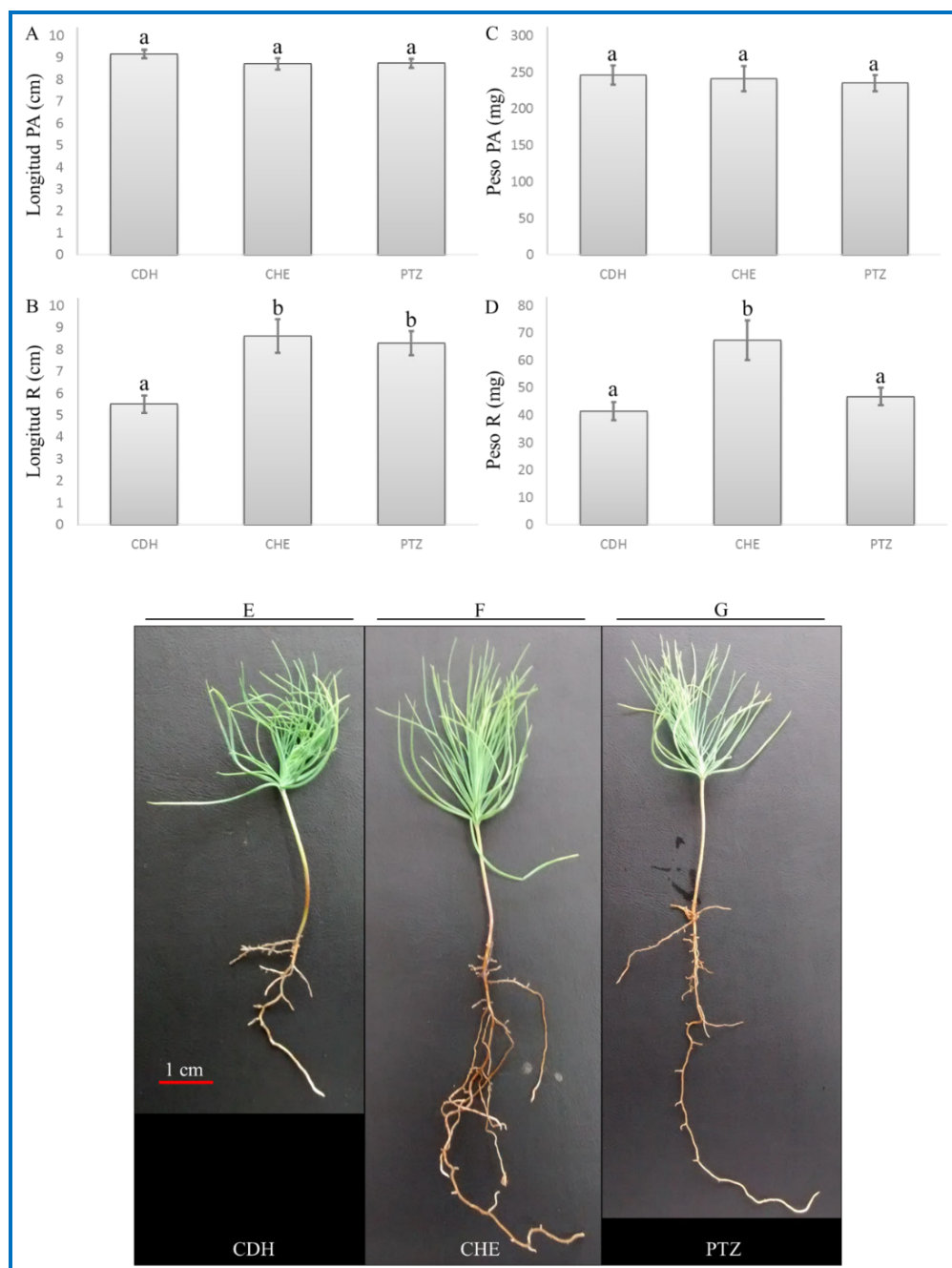


Fig. 2. Crecimiento de *P. devoniana* L. en suelo de diferente localidad, se muestra la longitud de la parte aérea y de la raíz (A y B), así como peso fresco de la parte aérea y de raíz (C y D). Arquitectura de la parte aérea y raíz a los 45 días de edad de las plántulas creciendo en suelo de Ciudad Hidalgo (E), Cherán (F) y Pátzcuaro (G). Los datos fueron analizados mediante ANDEVA, seguido de una prueba de Duncan ($P < 0,05$), las barras calificadas con la misma letra muestran no tener diferencias estadísticas.

DISCUSIÓN

El pH del suelo es un factor determinante en la solubilidad de nutrientes como nitrógeno, calcio, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc, el presente trabajo reportó valores de pH ligeramente ácidos en el suelo de los tres sitios CDH, CHE y PTZ (COFOM 2015), lo que puede sugerir una disminución en la solubilidad de elementos como el fósforo y calcio. Existen reportes en los que se demuestra una precipitación del fósforo y calcio a pH ácido (Fernández y Hoefl, 2009), también aumentando la solubilidad de nutrientes como nitrógeno, potasio y hierro. El calcio al igual que el nitrógeno son elementos que determinan la fertilidad del bosque, se sabe que el nitrógeno está directamente relacionado con la síntesis proteica, vigor y crecimiento en general de las plantas, y que nutrientes como potasio y fósforo participan en procesos como la floración, una baja disponibilidad de fósforo limita la productividad de plantas en los ecosistemas terrestres (Plassard y Dell, 2010). La deficiencia de fósforo disponible también es común en suelos ácidos, los cuales ocupan aproximadamente el 30% de la superficie terrestre y más de la mitad de esta área se localiza en bosques de clima frío y zonas templadas, es el primer o segundo elemento inhibidor de la productividad primaria neta de estos bosques (Plassard y Dell, 2010), debido a que limita el desarrollo vegetal por su importante participación en procesos como el desarrollo radical, la fotosíntesis, la formación de tejidos constituyentes del crecimiento y desarrollo fisiológico general (Wissuwa, 2003).

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 la baja concentración de MO en los suelos estudiados, indica que esta podría representar una limitada fuente de nitrógeno, la MO también está involucrada en funciones como la estructura y estabilidad del suelo, aumenta la solubilidad de varios nutrientes y se asocia a coloides ampliando la capacidad de intercambio catiónico, esto provoca que su presencia sea importante donde se presenten plantas con una fuerte demanda de nitrógeno (Martínez *et al.*, 2008). Los suelos provenientes de CHE y PTZ mostraron mayor efecto en la raíz de *P. devoniana* L., posiblemente porque en estos sitios es donde se obtuvo una menor concentración de MO y fósforo. Existen reportes indicando que en algunas plantas cuando hay deficiencia de fósforo la longitud de raíz incrementa (Fragoso *et al.* 2005), además que la planta libera diversos aminoácidos y gamma-aminobutirato que acrecientan la exudación de azúcares, aumentando la actividad microbiana en la rizósfera (Carvalhais *et al.*, 2011); en su conjunto, dichos eventos pudieron reflejar al modificar la arquitectura de la raíz de *P. devoniana* L. (CHE y PTZ).

Resultó claro que tanto el ACP basado en las características fisicoquímicas y nutrientes del suelo diferenciaron la muestra de CHE con las de PTZ y CDH, así mismo, el análisis clúster realizado señaló también la misma diferenciación de las muestras CHE con las de PTZ y CDH. Para el ACP la explicación de dicho evento radica en que características como la CIC, porosidad, concentración de potasio y calcio en el suelo CHE son diferentes sustancialmente a las muestras de PTZ y CDH, pero en el resto de las características todos los valores son diferentes entre las tres muestras, de igual manera, en el análisis clúster de agrupación se encontraron diferencias suficientes para separar los datos de suelo de CHE. La diferencia reportada en el perfil fisiológico de las comunidades microbianas para CDH, CHE y PTZ, sugiere que estas pudieran estar influenciando el crecimiento de *P. devoniana* L.

La diversidad de organismos del suelo puede mejorar el desarrollo vegetal de diferente manera, el mejor ejemplo son las bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* que pueden formar nódulos en las raíces de leguminosas, pero también en *P. sylvestris* se presentan simbioses del género *Burkholderia* y *Paenibacillus* (Poole *et al.*, 2001; Izumi *et al.*, 2006), que contribuyen con la adquisición de nitrógeno, ya que las bacterias potencialmente diazotróficas albergan nitrógeno reductasa. *P. radiata* presenta simbioses como *Betaproteobacteria*, *Bacilli*, *Alphaproteobacteria*, *Actinobacteria*, *Sphingobacteria*, *Gammaproteobacteria* y *Acidobacteria*, involucradas en la fijación de nitrógeno, oxidación de amonio y control biológico de organismos patógenos (Lottmann *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2011). Otro grupo de bacterias que solubilizan fosfato, debido a la presencia fosfatasas, fitasas, fosfonatasas y

carbono-fosforoliasas, liberan fosfato soluble a partir de compuestos orgánicos del suelo, las carbono-fósforoliasas rompen enlaces C-P en organofosfonatos y así liberan fósforo de los minerales (Khan *et al.*, 2009; Hayat *et al.*, 2010). Los resultados de este trabajo ofrecen evidencias de como las características fisicoquímicas y biológicas del suelo puede diferenciar el crecimiento radical de *P. devoniana* L., esta información es trascendental en trabajos de reforestación o implementación en plantaciones forestales comerciales, ya que pueden aportar elementos para mejorar la producción y el establecimiento de la planta con base en una adecuada selección del suelo.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron que las características fisicoquímicas de los distintos suelos forestales especialmente las muestras de Cherán, afectaron el crecimiento de *P. devoniana* L. aumentando la longitud y peso de raíz, pero sin influir en el desarrollo de la parte aérea.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo a este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Carvalhais, L.C.; P.G. Dennis, D. Fedoseyenko, M.R. Hajirezaei, R. Borriss, y N. von Wirén, 2011. "Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency". *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **174**(1): 3-11.
- Centro de Estudios en Medio Ambiente, CEMA. <http://cemamexico.com>.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 2015. COFOM. <http://cofom.michoacan.gob.mx/>. Consultada el 25 de noviembre de 2015.
- Dvorak, W.S.; K.M. Potter, V.D. Hipkins, y G.R. Hodge, 2009. "Genetic diversity and gene exchange in *Pinus oocarpa*, a Mesoamerican pine with resistance to the pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*)". *International Journal of Plant Sciences*, **170**(5): 609-626.
- Egamberdiyeva, D., 2007. "The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils". *Applied Soil Ecology*, **36**(2): 184-189.
- Fernández, F.G., y R.G. Hoefl, 2009. "Managing soil pH and crop nutrients". *Illinois agronomy handbook*, 91-112.
- Fragoso, S.; S.V. Santana, E.M. Barajas, J. Acosta, y P. Coello, 2005. "Respuesta de la soya (*Glycine max*) a la deficiencia de fosfato". *Agrociencia*, **39**: 303-310.
- Gryta, A.; M. Frąc, y K. Oszust, 2014. The application of the Biolog EcoPlate approach in ecotoxicological evaluation of dairy sewage sludge. *Applied biochemistry and biotechnology*, **174**(4): 1434-1443.
- Hayat, R.; S. Ali, U. Amara, R. Khalid, e I. Ahmed, 2010. "Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review". *Annals of Microbiology*, **60**(4): 579-598.
- Izumi, H.; I.C. Anderson, I.J. Alexander, K. Killham, y E.R. Moore, 2006. Endobacteria in some ectomycorrhiza of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *FEMS microbiology ecology*, **56**(1): 34-43.
- Mohammadi, K., 2012. "Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production". *Resour Environ*, **2**(1): 80-85.
- Lauber, C.L.; M.S. Strickland, M.A. Bradford, y N. Fierer, 2008. "The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types". *Soil Biology and Biochemistry*, **40**(9): 2407-2415.

Recibido:
8/julio/2016

Aceptado:
28/abril/2017

- Lottmann, J.; M. O'Callaghan, D. Baird, y C. Walter, 2010. "Bacterial and fungal communities in the rhizosphere of field-grown genetically modified pine trees (*Pinus radiata* D.)". *Environmental biosafety research*, **9**(1): 25-40.
- Marschner, P.; D. Crowley, y C.H. Yang, 2004. "Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type". *Plant and soil*, **261**(1): 199-208.
- Martínez, E.; J.P. Fuentes, y E. Acevedo, 2008. "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, **8**(1): 68-96.
- Monson, R.K.; D.L. Lipson, S.P. Burns, A.A. Turnipseed, A.C. Delany, M.W. Williams, y S.K. Schmidt, 2006. "Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition". *Nature*, **439**(7077): 711-714.
- Nihorimbere, V.; M. Ongena, M. Smargiassi, y P. Thonart, 2011. "Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health". *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **15**(2): 327.
- Plassard, C., y B. Dell, 2010. "Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees". *Tree Physiology*, **30**(9): 1129-1139.
- Poole, E.J.; G.D. Bending, J.M. Whipps, y D.J. Read, 2001. "Bacteria associated with *Pinus sylvestris*-*Lactarius rufus* ectomycorrhizas and their effects on mycorrhiza formation *in vitro*". *New Phytologist*, **151**(3): 743-751.
- Priha, O.; S.J. Grayston, R., Hiukka, T., Pennanen, y A. Smolander, 2001. "Microbial community structure and characteristics of the organic matter in soils under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites". *Biology and Fertility of Soils*, **33**(1): 17-24.
- Richardson, A.E., y R.J. Simpson, 2011. "Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus". *Plant physiology*, **156**(3): 989-996.
- Sánchez, M. C., y Á.G. Priego-Santander, 2011. "Biophysical landscapes of a coastal area of Michoacán state in Mexico". *Journal of Maps*, **7**(1): 42-50.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002. SEMARNAT. *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*, <http://biblioteca.semarnat.gob.mx>. Consultada el 16 de mayo de 2016.
- Singh, B.K.; K. Tate, N., Thomas, D. Ross, y J. Singh, 2011. "Differential effect of afforestation on nitrogen-fixing and denitrifying communities and potential implications for nitrogen cycling". *Soil Biology and Biochemistry*, **43**(7): 1426-1433.
- Wissuwa, M., 2003. "How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency? Small causes with big effects". *Plant Physiology*, **133**(4): 1947-1958.