

Efectos en la diversidad de micromicetos por cambios de uso de suelo en Vertisol

Effects on the diversity of micromycetes for land use changes in Vertisol

María Inés Yáñez Díaz, José Guadalupe Marmolejo Monsiváis, Israel Cantú Silva

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145, C.P.67700, Linares, Nuevo León, México.

RESUMEN

Antecedentes: Los cambios de uso de suelo afectan las propiedades fisicoquímicas del suelo, influyendo en la presencia, distribución y abundancia de los microorganismos presentes.

Objetivo: Analizar la riqueza, abundancia y diversidad de micromicetos en un Vertisol con diferentes sistemas de uso de suelo mediante una evaluación de la similitud e influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Métodos: Se colectaron 24 muestras de suelo, 3 muestras por cada uso de suelo (matorral espinoso tamaulipeco, pastizal, agrícola y plantación de *Eucalyptus* spp.) y a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm). Se utilizó el método de dilución en placa en dos medios de cultivo (EMA y RBA), contabilizando y aislando los micelios para su identificación morfológica.

Resultados y conclusiones: Se obtuvieron 734 morfoespecies en los cuatro usos de suelo, logrando identificar 33 géneros y 90 especies, encontrándose diferencias entre diversidad, riqueza y abundancia entre los usos de suelo y profundidad, pero no para la interacción. *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus terreus*, *A. ustus*, *Fusarium oxysporum* y *Penicillium glabrum* se presentaron en los cuatro usos de suelo, mientras que el 48 % de los aislamientos solo ocurrieron en algunos de ellos. Las propiedades fisicoquímicas presentaron baja asociación, siendo arcilla, hierro y CIC, las más explicativas.

Palabras clave: Abundancia fúngica, hongos microscópicos, propiedades fisicoquímicas, suelos arcillosos

ABSTRACT

Background: Land use changes affect the physicochemical properties of the soil, influencing the presence, distribution, and abundance of present microorganisms.

Objective: To analyze the richness, abundance and diversity of micromycetes in a Vertisol with different land use systems by evaluating the similarity and influence of the physicochemical properties of the soil.

Methods: 24 soil samples were collected, three samples for each land use (Tamaulipas thorny scrub, grassland, agricultural and *Eucalyptus* spp. plantation) and at two depths (0-5 and 5-30 cm). The plate dilution method was used in two culture media (EMA and RBA), the mycelia were quantified and isolated for its morphological identification.

Results and conclusions: 734 morphospecies were obtained, of which 33 genera and 90 species were identified in the four-land use system, differences were found between diversity, richness and abundance for land use system and depth, but no in the interaction. *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus terreus*, *A. ustus*, *Fusarium oxysporum* and *Penicillium glabrum* were presented in four land use system, whereas the 48 % of isolations only occurred some of them. Physicochemical properties showed low association, being clay, iron and CIC, the most explanatory.

Keywords: Clay soils, fungal abundance, microscopic fungi, physicochemical properties

ARTICLE HISTORY

Received 09 December 2021

Accepted 12 October 2022

Published on line 20 December 2022

CORRESPONDING AUTHOR

✉ José Guadalupe Marmolejo Monsiváis,
jose.marmolejomn@uanl.edu.mx
ORCID: 0000-0002-8869-0805

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema dinámico y hábitat complejo de muchos microorganismos, los cuales constituyen la fase biológica, desempeñando un papel importante en el reciclaje de nutrientes de las plantas, mantenimiento de la estructura del suelo, desintoxicación de productos químicos, entre otras funciones importantes que son claves para el buen funcionamiento de los ecosistemas (Bonkowski y Roy 2005, Marinković et al. 2012). El suelo Vertisol ocupa el 8.3 % del territorio nacional, son suelos arcillosos y profundos, con estructura inestable que tienden a responder fácilmente a los cambios de humedad y compactación (Ghosh et al. 2011). Los cambios de uso de suelo son esenciales para el desarrollo económico y progreso social que no viene sin costo ecológico (Wu 2008), ya que la degradación del suelo es uno de los principales problemas adjunto a la conversión de tierras de cultivo y bosques. En las últimas décadas, la agricultura ha sido el principal factor que modifica las propiedades bióticas y abióticas del suelo y propicia cambios en la composición de las comunidades microbianas (Waldrop et al. 2000), al alterar la calidad del suelo y disminuir su fertilidad (Anderson 2003).

Una gran parte de los microorganismos que viven en el suelo son hongos, incluyendo muchas especies microscópicas aún desconocidas para la ciencia. Se estima que en México hay 200,000 especies de hongos, pero sólo el 5 % se ha estudiado, por lo que el conocimiento de la diversidad de hongos en México aún es incipiente (Aguirre et al. 2014). De acuerdo con las funciones principales que realizan en los ecosistemas, los hongos se clasifican en saprófitos, que digieren y disuelven la hojarasca y detritus; depredadores y parásitos de organismos del suelo y simbioses de plantas e insectos (Adl 2003). La diversidad de microorganismos se ve fuertemente impactada debido a las características de los suelos, los cuales influyen en su presencia, distribución y abundancia (Rosas et al. 2020). Las propiedades físicas y químicas del suelo proporcionan la calidad necesaria para albergar la vida y mantener su capacidad productiva (Fernández et al. 2016).

Los microorganismos están fuertemente asociados con las partículas del suelo, como complejos de arcillas y materia orgánica donde forman microhábitats que se distribuyen de forma heterogénea (Giri et al. 2005). La profundidad del suelo es primordial en la distribu-

ción de los organismos, debido a la disponibilidad de carbono, fracciones de tamaño de partículas finas y agregados estables pueden cambiar en condiciones diferentes de profundidad (Balsler et al. 2010). Los hongos y bacterias representan el 95 % de los microorganismos que participan en la descomposición de la materia orgánica (Zabala y Gómez 2010), por lo que cambios en las propiedades edáficas como son la disponibilidad de nutrientes, humedad, pH, entre otras, pueden modificar las comunidades fúngicas e influir en el rol funcional de las mismas (Valenzuela et al. 2001). Los hongos microscópicos cumplen un rol clave para la sostenibilidad de los ecosistemas, por lo que es importante conocer la diversidad fúngica en diferentes sistemas de usos (Alejo et al. 2012, Cantú et al. 2018, Luna et al. 2020, Yáñez et al. 2018), además de que, cambios de la calidad del suelo se han relacionado con la disminución de diversidad microbiana (Álvarez y Anzueto 2004, Arias y Heredia 2020, Marcos et al. 2019, Samaniego y Chew 2007, Zabala y Gómez 2010). Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio fue conocer la estructura de la comunidad de micromicetos y su relación con las propiedades físico-químicas en suelos tipo Vertisol, bajo diferentes sistemas de uso de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León ubicado en Linares, Nuevo León, al noreste de México (24°47' N, 99°32' W, 380 msnm). El clima es subtropical y semiárido con verano cálido, temperatura media mensual de 14.7 °C en enero a 22.3 °C en agosto. La precipitación promedio anual es de 805 mm con una distribución bimodal. El tipo de suelo predominante es Vertisol con esmética y estructura tipo prismática, de coloración gris oscuro, clase textural arcillo limosa con altos contenidos de montmorillonita, que permite que se contraiga y expanda en respuesta a los cambios de humedad del suelo (González et al. 2011).

Sistemas de uso de suelo

Se ubicaron cuatro sistemas de uso de suelo (Yáñez et al. 2018). Un área de pastizal predominando la especie *Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf, que presenta un sistema de ganadería intensiva con rotación. Una

plantación de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microteca* F. Muell. en un sistema agroforestal Taungya. Un campo agrícola con rotación de cultivos *Sorghum bicolor* (L.) Moench y *Triticum aestivum* L. bajo un sistema de labranza cero con criterios de producción sostenible y un área con vegetación natural que corresponde al matorral espinoso tamaulipeco con dominancia de especies espinosas como *Celtis pallida* Torr., *Vachellia rigidula* (Benth.) Seigler & Ebinger, *Condalia lycioides* (Gray) Weberb., *Forestiera angustifolia* Torr., *Karwinskia humboldtiana* (Roemer & Schultes) Zucc., entre otras.

Colecta y análisis de muestras de suelo

a) Muestreo de suelo para hongos. En cada uso de suelo se tomaron seis muestras compuestas de cuatro submuestras con una barrena esterilizada con alcohol al 75 %, tres muestras a 0-5 cm y tres a 5-30 cm de profundidad ($n=24$). Las muestras fueron refrigeradas durante su traslado al Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, donde se procesaron por la técnica de dilución en placa. La técnica consiste en diluir 1 g de suelo en 9 mL de agua destilada (proporción 1:10), la suspensión se agitó 1 min (agitador Baxter) y posteriormente se realizaron diluciones continuas de 10^{-2} hasta 10^{-6} , bajo condiciones de esterilidad en una campana de flujo laminar (LABCONCO, 3004-01). Un mL de las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} se inocularon en dos medios de cultivo; extracto de malta agar (Bioxon, EMA) y rosa de bengala agar (Bioxon, RBA) con tres repeticiones para cada dilución. Las placas inoculadas se dejaron en la incubadora (SHELLAB, R125) a una temperatura de 22 °C y los micelios desarrollados se cuantificaron después de 24, 48 horas y 72 h de incubación. Cada micelio aislado fue marcado y sembrado en tubos de ensayo con medio de cultivo EMA, dejándose en la incubadora a 22 °C para su posterior identificación. Cada aislado se identificó mediante un microscopio binocular (CARL ZEISS, AxioStar) hasta género y especie, cuando fue posible. Para la identificación de las especies se consultó la literatura especializada (Arx 1981, Barnett y Hunter 1998, Barron 1968, Domsch et al. 1993, Ellis 1971, 1976, Nag Raj 1993, Sutton 1980) y se consultó la página web Index Fungorum (<https://indexfungorum.org>) para corroborar los nombres y autores. En total se sembraron 108 placas inoculadas por uso de suelo y se obtuvieron un total de 432 placas inoculadas.

b) Muestreo de suelo para análisis edáfico. En cada uso de suelo se colectaron cuatro muestras a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm), distribuidas al azar. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques, de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, donde fueron secadas al ambiente, molidas con un mazo de madera y tamizadas a través de una criba de 2 mm. Las muestras ($n= 32$) se analizaron mediante los procedimientos de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002) y de Woerner (1989), para las variables: pH por el método AS-23, conductividad eléctrica (CE) por determinación rápida suelo-agua 1:5, carbono orgánico (CO) método de Walkley-Black modificado, nitrógeno total (Nt) a través del método de semi-micro Kjeldahl, fósforo (P) aprovechable por el método AS-10, Olsen y colaboradores; macronutrientes (Ca, Mg, K y Na) extracción con acetato de amonio pH= 7 modificado, micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) por extracción con DTPA-TEA-CaCl₂ pH= 7.3 y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por intercambio con acetato de sodio pH= 8.2 / acetato de amonio pH= 7 (Woerner, 1989). Las diferencias encontradas en las propiedades químicas del Vertisol se encuentran reportadas en Yáñez et al. (2018) y Cantú y Yáñez (2018). La composición granulométrica (arena, limo y arcilla) se realizó por el procedimiento de Bouyoucos, método AS-09 y el agua disponible por diferencia de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente por el método AS-06 (SEMARNAT 2002).

Análisis de datos

Se cuantificó la cantidad de micelios presentes en las placas inoculadas, logrando identificar parte de ellas hasta género y especie. Con estos datos se obtuvo: 1) Descripción de estructura de la comunidad de micromicetos, a través de análisis de la riqueza específica (S), expresada como el total de especies identificadas por uso de suelo y profundidad; la abundancia (N), que es la cantidad de hongos identificados de cada especie la frecuencia relativa (Fi) por sitio, que correspondió al total de individuos identificados en cada especie entre el total de especies del sitio por 100; el índice de riqueza específica mediante el índice de Margalef (D_{Mg}) que indica los cambios del número de especies con relación al tamaño de la muestra, mediante la expresión $(S-1)/\ln N$; el índice de Shannon-Wiener ($H' = -\sum p_i \ln p_i$) la cual mide la diversidad de especies, mediante la uniformidad de

las mismas, de acuerdo al grado en que las muestras están representadas y la diversidad máxima que representa la misma abundancia en todas las especies correspondiendo al índice de equitatividad ($E = H'/\ln S$) (Magurran 2004). 2) Interacción entre usos de suelos, la cual se analizó mediante la agrupación de los hongos identificados de acuerdo con su abundancia mediante un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis de conglomerados entre grupos, para identificar la correlación de los usos de suelo en relación con los micromicetos identificados. 3) Asociaciones de las comunidades de micromicetos con las variables edáficas. La influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo sobre la agrupación de los hongos identificados para cada sitio se determinó mediante un análisis de correspondencia canónica, transformando los valores de las propiedades edáficas a una clasificación Random que permite clasificar múltiples variables edáficas y elimina el efecto de distintas escalas de medida (Sokal y Rohlf 2003). Los cálculos se realizaron con el programa PAST v4.03 y Excel de Office (Microsoft Corp. 2019). Para detectar diferencias en la riqueza, abundancia e índices, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), aplicando la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos y la prueba de Levene ($p \leq 0.05$) para homocedasticidad de varianza. Las comparaciones se hicieron entre los sitios de colecta y las profundidades

muestreadas. Se utilizó el programa estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 25.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL.).

RESULTADOS

Descripción de la estructura de las comunidades de micromicetos

Se aislaron un total de 2303 micelios de hongos en los cuatro sistemas de uso de suelo (pastizal, matorral, plantación y agrícola) a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm) en 432 placas inoculadas. El total de morfoespecies aisladas en los cuatro usos de suelo fueron 734, correspondientes a 33 géneros identificados, de los cuales corresponden a 19 en el pastizal, 18 en el matorral, 13 en plantación y 16 en agrícola (Figura 1). En total se identificaron 90 especies diferentes de micromicetos en los cuatro usos de suelo. La riqueza de especies fue mayor en el uso de suelo de matorral con 51 especies identificadas, 37 especies se encontraron en los primeros 5 cm de profundidad y 26 especies en la profundidad de 5-30 cm. La menor riqueza se reportó en el uso de suelo de plantación con solo 27 especies, representado con 21 y 10 especies para 0-5 cm y 5-30 cm, respectivamente (Tabla 1). La abundancia de hongos por uso de suelo fue mayor en el área agrícola, mientras que, por profundidad, el pastizal a 0-5 cm presentó 140 micromicetos identificados. En la

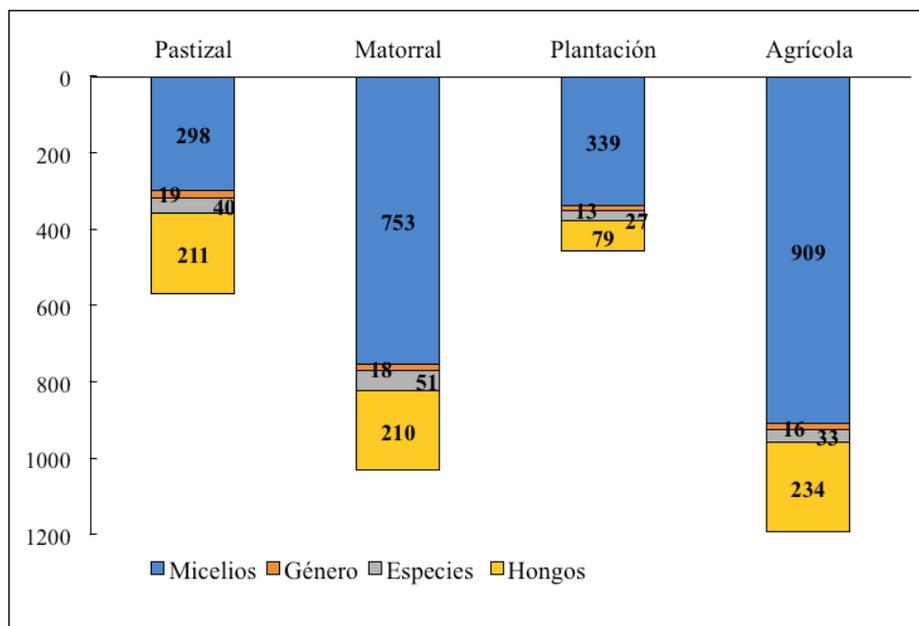


Figura 1. Número de micelios inoculados, género, especie y cantidad de hongos identificados por uso de suelo.

plantación se reportó la menor abundancia por uso y entre las profundidades con 53 (0-5 cm) y 26 (5-30 cm) especies, respectivamente. La comparación entre usos de suelo (FA) y profundidad (FB) presentaron diferencias tanto para la riqueza ($p=0.019$) como la abundancia ($p=0.028$), mientras que la interacción entre uso de suelo por profundidad (FA*FB) no presentaron diferencias (Tabla 1).

La riqueza específica mediante el índice de Margalef mostró valores totales de 5.87, 5.95, 7.29 y 9.35 para uso agrícola, plantación, pastizal y matorral, respectivamente y se encontraron diferencias entre los usos de suelo ($p=0.041$). La diversidad del índice de Shannon-Weiner (H') fue mayor en matorral ($H'=3.1$), seguido de pastizal ($H'=3.0$), mientras que plantación y agrícola fue similar ($H'=2.6$), con diferencias significativas entre los usos de suelos ($p=0.048$), al igual que por profundidad ($p=0.002$), sin embargo, en la interacción uso de suelo por profundidad no se observaron diferencias entre la diversidad de las especies. La equitatividad fluctuó en valores 0.747 (agrícola) a 0.817 (pastizal) y no presentó diferencias en el análisis realizado para cada factor y su interacción.

La Tabla 2 muestra las 90 especies de micromicetos identificados con valores de frecuencia relativa (F) para cada sistema de uso de suelo, donde se observa que *Aspergillus terreus* Thom., *A. ustus* Thom & Church, *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries, *Fusarium oxysporum* Schldt., *Penicillium glabrum* (Wehmer) Westling, tuvieron presencia en todos los sitios; mientras que el 48 % de las especies sólo tuvieron una ocurrencia en alguno de los usos de suelo. En general, las especies *Cladosporium cladosporioides* y *Aspergillus niger* Tiegh. presentaron las mayores frecuencias relativas con 16 % y 11 %, respectivamente para el total de los sitios, cabe resaltar que *A. niger* no se encontró en el uso de pastizal. El comportamiento de la abundancia presente entre los usos de suelos se refleja en el diagrama de Whittaker (Figura 2), donde cada uso de suelo muestra una curva diferente con respecto a la abundancia por rango, observándose en el matorral un mayor número de especies, al contrario de la plantación, la cual muestra una curva menos pronunciada, lo que indica un intervalo menor y una curva menos pronunciada, representado por las 27 especies encontradas.

Tabla 1. Valores calculados de riqueza específica (S), abundancia (N), índice de Margalef (DMG), índice de Shannon-Weiner (H'), equitatividad (E) de las especies de hongos identificados para cada sistema de uso de suelo (total) y por profundidad (0-5 y 5-30 cm)

Uso de suelo	Profundidad (cm)	S	N	DMG	H'	E
Pastizal	0-5	35	140	6.880	3.074	0.865
	5-30	19	71	4.223	2.360	0.802
	total	40	211	7.287	3.012	0.817
Matorral	0-5	37	117	7.560	3.025	0.838
	5-30	26	93	5.516	2.608	0.801
	total	51	210	9.351	3.107	0.790
Plantación	0-5	21	53	5.037	2.556	0.840
	5-30	10	26	2.762	1.847	0.802
	total	27	79	5.950	2.613	0.793
Agrícola	0-5	26	137	5.081	2.504	0.768
	5-30	17	97	3.497	2.369	0.836
	total	33	234	5.866	2.613	0.747
ANOVA	FA (3,24)	4.410*	3.924*	3.465*	3.288*	0.472 ^{NS}
	FB (1, 24)	14.192**	5.046*	15.172**	13.253**	1.221 ^{NS}
	FA*FB (3,24)	0.963 ^{NS}	0.333 ^{NS}	0.945 ^{NS}	1.622 ^{NS}	2.056 ^{NS}

Factor uso de suelo (FA)^a. Profundidad (FB)^b e interacción uso por profundidad (FA * FB)^c. ** Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). * Diferencias significativas ($p \leq 0.05$). ^{NS} No significativo. Índices calculados con base a las especies identificadas en cada muestra de suelo ($n=3$) por uso y profundidad ($n=24$).

Tabla 2. Frecuencias relativas (F) de especies de hongos identificados en el Vertisol para cada sistema de uso de suelo pastizal (S1), matorral (S2), plantación (S3) y agrícola (S4) y el total (%) en los cuatro sistemas de uso de suelo

Especies	S1	S2	S3	S4	%	Especies	S1	S2	S3	S4	%
<i>Acremonium</i> sp. 1	0.5	-	-	-	0.1	<i>Mycotypha</i> sp.	-	-	-	0.4	0.1
<i>Acremonium</i> sp. 2	0.5	-	-	-	0.1	<i>Paecilomyces</i> sp.	-	0.5	-	-	0.1
<i>Acremonium</i> sp. 3	-	0.5	1.3	0.4	0.4	<i>Papulaspora immersa</i>	-	-	-	0.4	0.1
<i>Acremonium strictum</i>	0.5	-	-	-	0.1	<i>Penicillium citrinum</i>	-	1.4	-	-	0.4
<i>Alternaria alternata</i>	2.8	1.0	-	-	1.1	<i>P. glabrum</i>	10.4	1.9	1.3	1.7	4.2
<i>Aspergillus alutaceus</i>	-	2.9	-	1.3	1.2	<i>P. lagenae</i>	-	-	1.3	-	0.1
<i>A. candidus</i>	-	1.9	1.3	-	0.7	<i>P. lividum</i>	-	0.5	-	-	0.1
<i>A. clavatus</i>	-	-	-	0.4	0.1	<i>P. simplicissimum</i>	0.9	10.0	17.7	-	5.0
<i>A. flavipes</i>	-	1.0	-	-	0.3	<i>Penicillium</i> sp. 1	-	0.5	-	-	0.1
<i>A. nidulans</i>	-	1.4	-	2.1	1.1	<i>Penicillium</i> sp. 2	-	-	1.3	-	0.1
<i>A. niger</i>	-	11.0	19.0	18.8	11.2	<i>Penicillium</i> sp. 3	0.5	-	-	-	0.1
<i>A. restrictus</i>	-	-	-	0.4	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 4	-	0.5	-	-	0.1
<i>A. rugulosus</i>	-	-	-	1.3	0.4	<i>Penicillium</i> sp. 5	-	0.5	-	-	0.1
<i>A. sclerotiorum</i>	0.5	2.9	-	16.7	6.3	<i>Penicillium</i> sp. 6	-	0.5	2.5	-	0.4
<i>Aspergillus</i> sp. 1	-	0.5	-	-	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 7	0.5	-	-	-	0.1
<i>Aspergillus</i> sp. 2	-	0.5	-	-	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 8	-	1.0	1.3	-	0.4
<i>Aspergillus</i> sp. 3	-	-	-	0.4	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 9	-	0.5	-	-	0.1
<i>A. terreus</i>	1.4	1.0	1.3	6.4	2.9	<i>Penicillium</i> sp. 10	0.9	-	-	-	0.3
<i>A. ustus</i>	0.5	1.4	2.5	0.4	1.0	<i>Penicillium</i> sp. 11	-	-	2.5	3.0	1.2
<i>A. wentii</i>	-	1.0	-	-	0.3	<i>Penicillium</i> sp. 12	-	-	-	0.4	0.1
<i>Aureobasidium pullulans</i>	2.8	0.5	-	1.3	1.4	<i>Penicillium</i> sp. 13	-	0.5	-	-	0.1
<i>Beauveria bassiana</i>	-	-	1.3	-	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 14	-	0.5	-	-	0.1
<i>Bisifusarium dimerum</i>	-	-	-	0.4	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 15	-	-	-	0.4	0.1
<i>Cephalosporium tabacinum</i>	8.1	-	1.3	0.4	2.6	<i>Penicillium</i> sp. 16	0.5	-	-	-	0.1
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	15.2	22.4	21.5	10.7	16.5	<i>Penicillium</i> sp. 17	5.2	1.0	-	0.9	2.0
<i>C. herbarum</i>	1.4	-	-	0.4	0.5	<i>Penicillium</i> sp. 18	-	-	1.3	-	0.1
<i>C. oxysporum</i>	-	0.5	-	-	0.1	<i>Penicillium</i> sp. 19	0.9	2.4	2.5	-	1.2
<i>Coniothyrium</i> sp.	0.5	-	-	-	0.1	<i>Pleotrichocladium opacum</i>	0.5	-	-	-	0.1
<i>Cordyceps farinosa</i>	1.4	0.5	-	-	0.5	<i>Pleurostoma richardsiae</i>	0.5	-	-	-	0.1
<i>C. fumosorosea</i>	0.9	-	1.3	-	0.4	<i>Pseudopithomyces chartarum</i>	-	-	1.3	-	0.1
<i>Curvularia lunata</i>	-	0.5	-	-	0.1	<i>Rhizopus arrhizus</i>	0.5	-	-	15.0	4.9
<i>Dipodascus geotrichum</i>	-	0.5	-	1.3	0.5	<i>Spegazzinia tessarthra</i>	0.5	-	-	-	0.1
<i>Fusarium oxysporum</i>	3.3	6.2	2.5	6.4	5.0	<i>Sporothrix</i> sp.	-	0.5	-	-	0.1
<i>F. solani</i>	4.7	-	-	4.3	2.7	<i>Stachybotrys echinatus</i>	-	-	1.3	-	0.1
<i>Fusarium</i> sp. 1	0.9	-	-	-	0.3	<i>Talaromyces funiculosus</i>	-	-	-	0.4	0.1
<i>Fusarium</i> sp. 2	-	0.5	2.5	0.9	0.7	<i>T. purpureogenus</i>	-	1.0	3.8	1.3	1.1
<i>Fusarium</i> sp. 3	0.9	-	-	-	0.3	<i>Trichocladium griseum</i>	0.5	-	-	-	0.1
<i>Gliomastix</i> sp.	-	0.5	-	-	0.1	<i>Trichoderma harzianum</i>	14.2	2.9	-	-	4.9
<i>Juxtiphoma eupyrena</i>	0.9	-	-	-	0.3	<i>T. koningii</i>	4.7	-	1.3	0.4	1.6
<i>Metarhizium carneum</i>	-	-	-	0.4	0.1	<i>Trichoderma</i> sp. 1	-	0.5	-	-	0.1
<i>Monocillium</i> sp. 1	1.9	6.7	-	0.4	2.6	<i>Trichoderma</i> sp. 2	2.8	1.4	2.5	-	1.5
<i>Monocillium</i> sp. 2	-	0.5	-	-	0.1	<i>Trichoderma</i> sp. 3	0.5	1.0	-	-	0.4
<i>Mucor hiemalis</i>	-	1.0	1.3	-	0.4	<i>Trichoderma</i> sp. 4	0.9	1.0	-	-	0.5
<i>M. racemosus</i>	-	1.0	1.3	-	0.4	<i>T. viride</i>	4.3	0.5	-	-	1.4
<i>Mucor</i> sp.	0.5	0.5	-	-	0.3	<i>Zygosporium masonii</i>	-	1.4	-	-	0.4

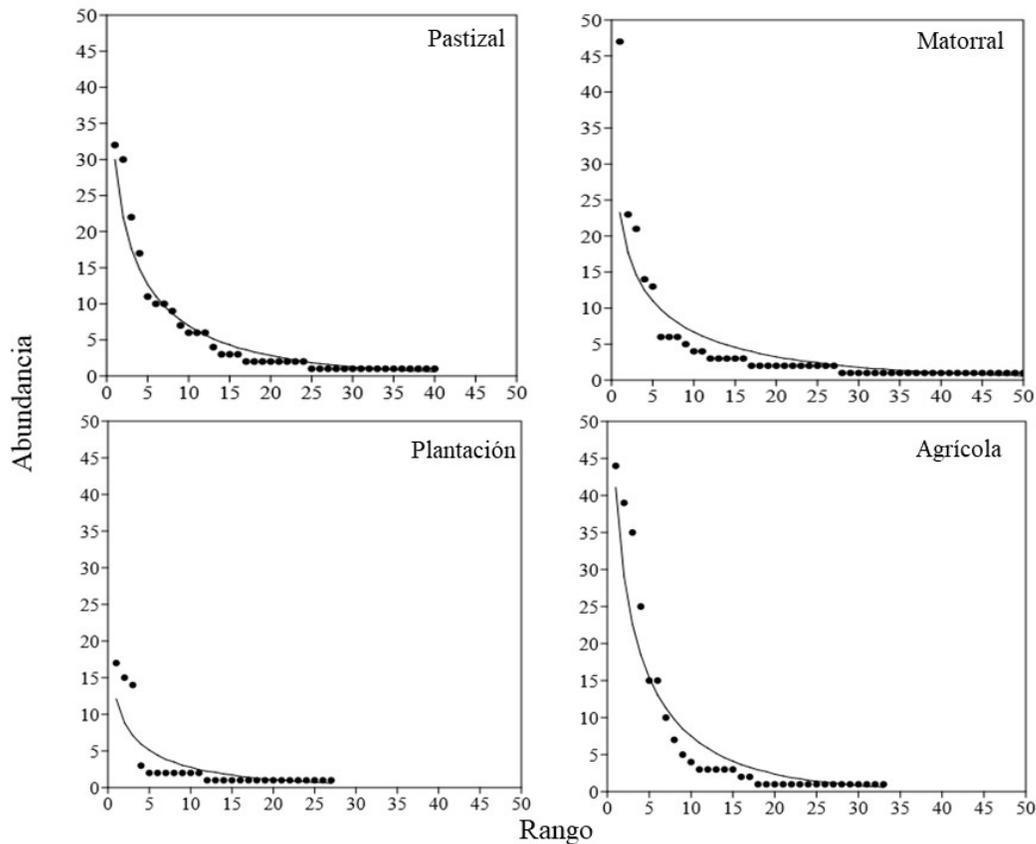


Figura 2. Diagramas Whittaker del modelo de distribución de abundancia de las especies de hongos contra rango para los 4 sistemas de uso de suelo.

Interacción entre usos de suelo

El análisis de componentes principales (CPA) muestra la interrelación de los hongos identificados entre los cuatro usos de suelos y profundidad, explicándose con el 71 % de la varianza total en los primeros dos componentes principales. Se observan tres agrupamientos basados en las abundancias de las especies (Figura 3), donde matorral y plantación en sus dos profundidades indican una composición de abundancia semejante, predominando *Penicillium simplicissimum* (Wehmer) Westling y *C. cladosporioides*, mientras que, en pastizal, las dos profundidades presentaron otra agrupación de especies con abundancias semejantes dominado por *Trichoderma harzianum* Rifai, *Penicillium glabrum* y *Cephalosporium tabacinum* J.F.H. Beyma. Con respecto al uso de suelo agrícola, los resultados muestran independencia con los otros grupos, así como entre profundidades, con abundancia de *Aspergillus niger*, *A. sclerotiorum* G.A. Huber y *Rhizopus arrhizus* A. Fisch. Esto se comprueba mediante el análisis de conglomerados con los diagramas de agrupamiento (Figura 4),

donde el índice de distancia Euclidiana (Coef. = 0.91) muestra las agrupaciones de las abundancias entre los grupos de sitios y profundidad, indicado por una menor distancia de agrupamiento en pastizal, matorral y plantación entre las dos profundidades de cada grupo y una mayor distancia de agrupamiento con agrícola 0-5 cm. De igual manera, el diagrama de similitud del índice de Jaccard (Coef. = 0.88), explica las agrupaciones con base en las ausencias y presencias de hongos, con una mayor similitud en un mismo uso de suelo con su profundidad y una heterogeneidad con los demás grupos, donde el uso de plantación presentó el menor índice, lo que refleja la menor presencia de especies.

Asociaciones de las comunidades de micromicetos con las variables edáficas

Los cambios encontrados en las variables edáficas entre los usos de pastizal, agrícola y plantación de eucaliptos con respecto al matorral se reportan en Yáñez et al. (2018) y Cantú y Yáñez (2018). Los valores promedios de las 18 propiedades del suelo Vertisol se pre-

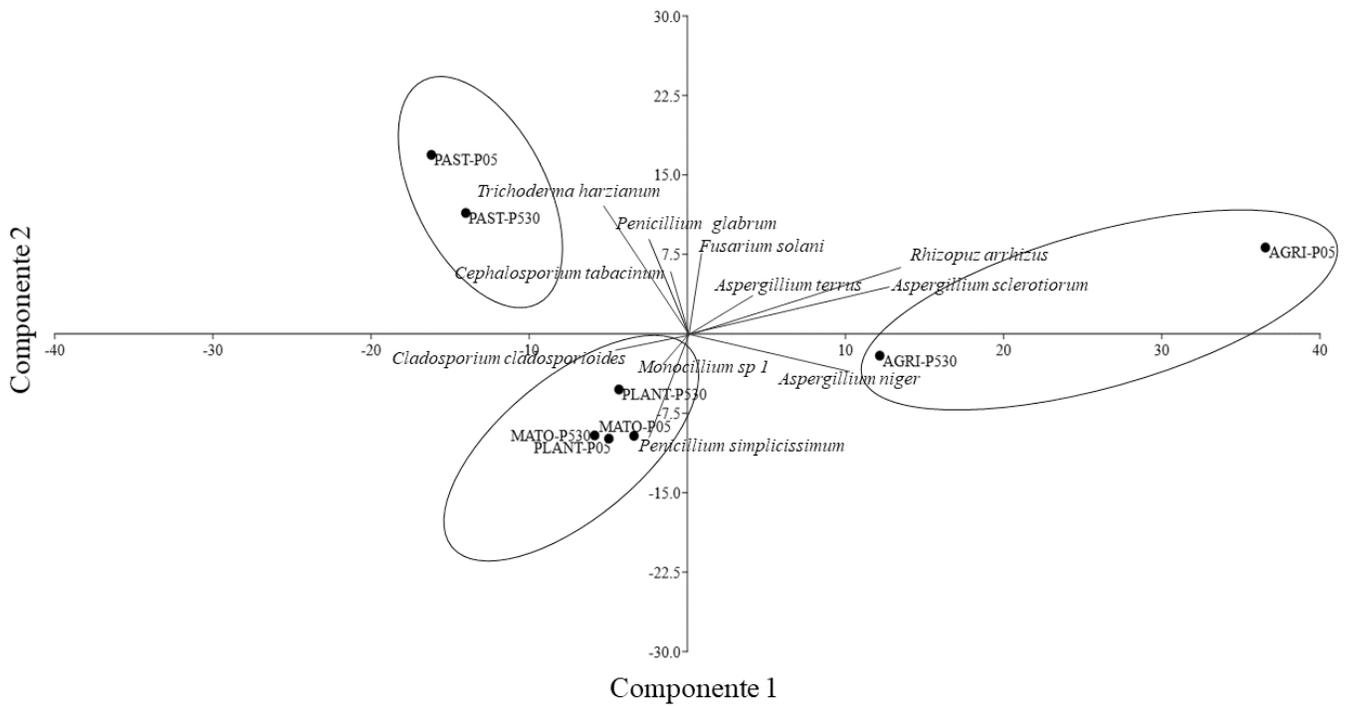


Figura 3. Análisis de componentes principales de los hongos identificados para cada uso de suelo y profundidad.

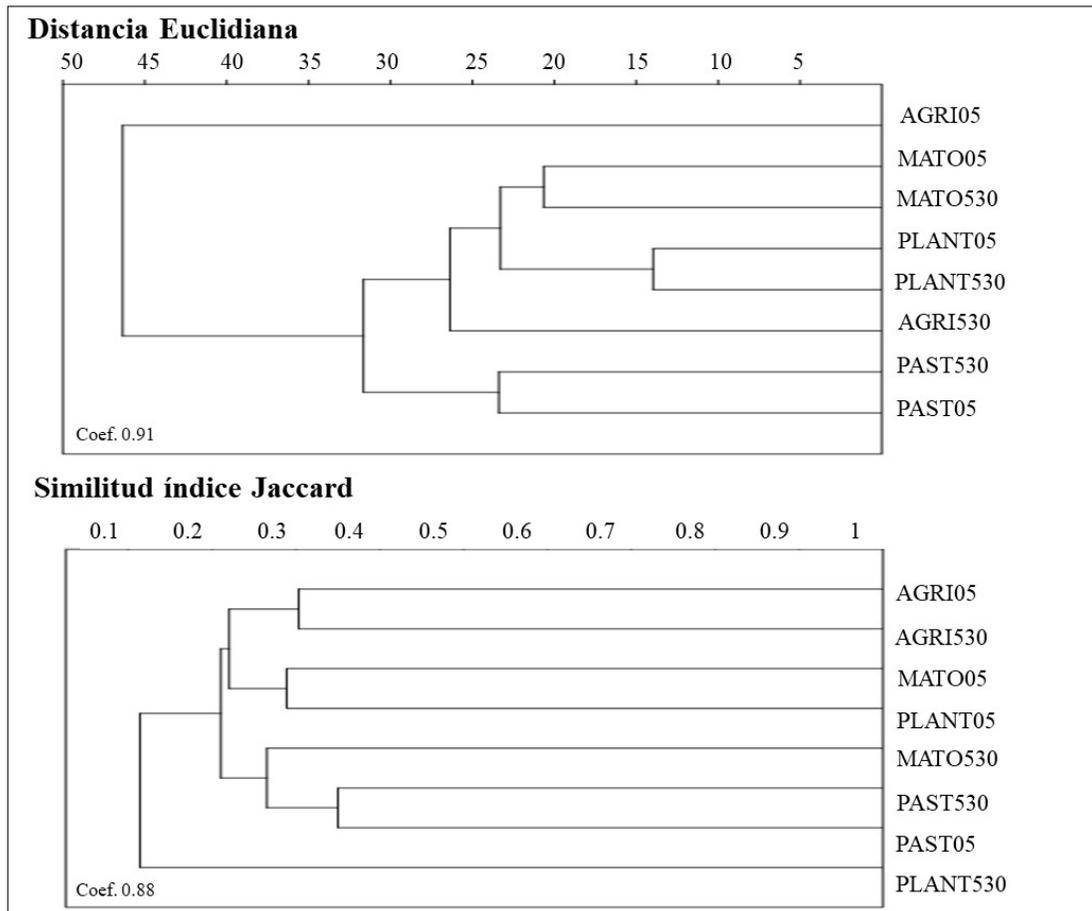


Figura 4. Dendrograma de agrupamiento de distancia de las abundancias de especies de hongos identificados por usos de suelo y profundidad y similitud del Índice de Jaccard.

Tabla 3. Valores medios de las propiedades edáficas analizadas del Vertisol en los cuatro sistemas de usos de suelo y en las dos profundidades (0-5 y 5-30 cm)

Propiedades edáficas	Unidades	Pastizal		Matorral		Plantación		Agrícola	
		P05	P530	P05	P530	P05	P530	P05	P530
pH		7.56	7.65	7.61	7.60	7.60	7.68	7.71	7.73
CE	dS m ⁻¹	0.17	0.11	0.15	0.13	0.10	0.10	0.10	0.09
COS	(%)	3.40	1.90	4.10	3.00	2.40	1.70	1.40	1.30
P	mg/Kg	12.03	6.47	6.71	3.99	6.95	5.78	6.99	7.82
Nt	%	0.33	0.19	0.43	0.42	0.27	0.19	0.16	0.14
CIC	cmol (+) kg ⁻¹	44.77	45.07	50.09	43.27	39.07	37.23	35.05	37.15
K	cmol (+) kg ⁻¹	2.01	1.37	1.86	1.56	1.62	0.82	1.06	0.78
Mg	cmol (+) kg ⁻¹	1.73	1.85	3.08	2.74	2.45	1.91	2.14	1.62
Na	cmol (+) kg ⁻¹	0.11	0.16	0.14	0.11	0.11	0.16	0.15	0.23
Ca	cmol (+) kg ⁻¹	44.37	62.33	60.26	57.65	63.22	64.83	62.77	62.28
Cu	mg l ⁻¹	1.01	0.61	0.37	0.36	0.28	0.29	0.33	0.34
Mn	mg l ⁻¹	7.35	5.82	10.10	7.32	5.86	4.54	4.34	3.74
Fe	mg l ⁻¹	19.25	6.05	4.25	3.17	2.95	2.02	2.84	2.41
Zn	mg l ⁻¹	2.49	0.53	2.64	0.73	0.61	0.92	0.51	0.47
Arena	%	15.73	16.58	21.63	13.90	16.98	20.60	9.32	9.50
Arcilla	%	42.95	46.92	37.70	44.38	38.66	43.40	49.46	49.96
Limo	%	41.32	36.50	40.67	41.73	44.36	36.00	41.22	40.54
Ad	%	9.25	10.47	13.62	10.38	11.82	12.37	16.35	13.25

Propiedades edáficas: CE= conductividad eléctrica. COS= carbono orgánico de suelo. P= fósforo. Nt= nitrógeno total. CIC= capacidad de intercambio catiónico. K= potasio. Mg= magnesio. Na= sodio. Ca= calcio. Cu= cobre. Mn= manganeso. Fe= hierro. Zn= zinc. Ad= agua disponible.

sentan en la Tabla 3, las cuales fueron utilizadas para explicar la abundancia de los hongos identificados en cada sistema de uso de suelo y su profundidad. De acuerdo con el análisis de correspondencia canónica donde se correlacionaron las 18 propiedades de suelo con la abundancia de hongos para cada especie identificada, se encontró que dichas propiedades presentan una asociación baja con la abundancia de los hongos, presentando el 49.5 % de varianza en los primeros dos componentes (Figura 5). En el primer componente arcilla, limo, cobre y agua disponible explican la agrupación para el uso agrícola de manera positiva, siendo conductividad eléctrica y carbono orgánico una influencia negativa para esos sitios, debido a la menor cantidad de materia orgánica para ese uso de suelo.

Los contenidos de sodio, potasio, arena y hierro favorecen la abundancia en los sitios de matorral y plantación correlacionados positivamente, caso contrario con capacidad de intercambio catiónico, manganeso y zinc donde se observa una correlación negativa para esos usos, pero favorables para la abundancia en los usos de pastizal. Asimismo, se observa que fósforo, potasio y sodio presentan los valores absolutos más bajos dentro del primer componente principal (28.4 % varianza). Para el segundo componente (21 % de varianza), capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y porcentaje de arcilla favorecen la distribución de algunos hongos de manera positiva, mientras que fósforo, potasio y el porcentaje de limo de manera negativa (Tabla 4).

Tabla 4. Valores absolutos del análisis de correspondencia canónica para los primeros dos componentes CP1 y CP2

Propiedades edáficas	Primer componente (28.4 %)	Segundo componente (21.1 %)
pH	-0.6055	0.0324
Conductividad eléctrica (CE)	-0.3577	0.4436
Carbono orgánico (CO)	-0.1274	0.1765
Fósforo (P)	-0.0481	-0.4580
Nitrógeno total (Nt)	-0.2032	-0.1548
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	0.1595	0.6255
Potasio (K)	0.0817	-0.7921
Magnesio (Mg)	0.2372	0.3170
Sodio (Na)	0.0394	0.1601
Calcio (Ca)	0.5580	0.2301
Cobre (Cu)	0.0419	-0.1712
Manganeso (Mn)	0.1472	-0.3986
Hierro (Fe)	0.7009	-0.1312
Zinc (Zn)	0.3433	-0.3687
Arena	-0.5398	-0.4344
Arcilla	0.7841	0.3093
Limo	-0.2064	-0.7234
Agua disponible (Ad)	0.3863	-0.0102

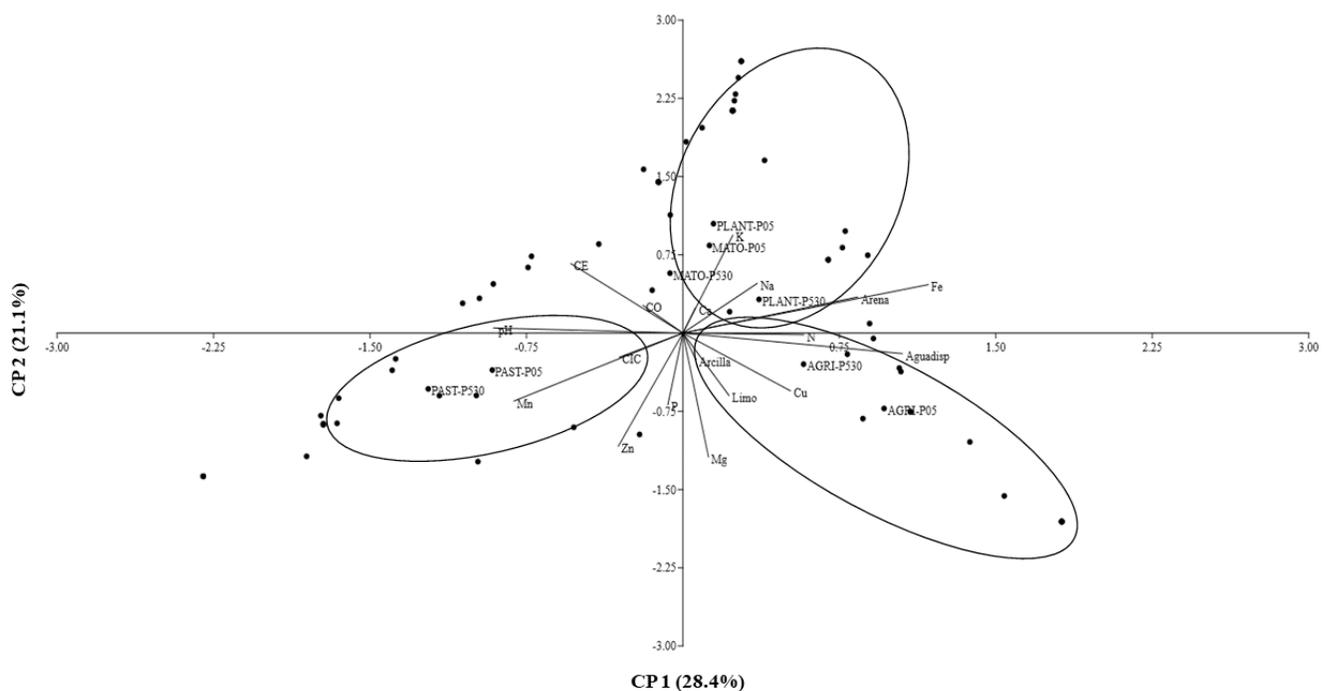


Figura 5. Diagrama del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con 18 propiedades edáficas. Los puntos corresponden a las especies de hongos.

DISCUSIÓN

El suelo es un medio altamente complejo, donde los hongos juegan un papel clave en todos los ecosistemas, respondiendo a los cambios físicos, químicos y biológicos presentes en los diferentes sistemas de usos (Balsler et al. 2010, Rosas et al. 2020, Yáñez et al. 2018). En este estudio, se evaluó la riqueza, abundancia y diversidad de hongos en un mismo tipo de suelo Vertisol con diferentes usos, agrícola, pastizal y plantación de eucaliptos, y comparándolo con el matorral espinoso tamaulipeco, un tipo de suelo que representa la vegetación natural del área. Los resultados mostraron diferencias significativas en los valores estimados de riqueza, abundancia y diversidad de los hongos identificados entre los usos de suelo, así también en las dos profundidades analizadas (0-5 y 5-30 cm), más no en la interacción de estos dos factores.

Considerando que la diversidad de hongos conlleva a la salud del suelo, en el presente estudio se determinó una mayor diversidad en el orden de matorral > pastizal > plantación > agrícola, con valores de H' = 3.1, 3.0, 2.6, 2.6, respectivamente, lo que indica una disminución en la diversidad entre los usos de suelos con respecto a la vegetación natural. Heredia y Arias (2014) encontraron una mayor diversidad H' = 4.5 para bosque mesófilo de montaña, valores que disminuyeron en zonas sustituidas por cafetales.

El hongo más frecuentemente encontrado fue *Cladosporium cladosporioides*, una especie saprófita, xerófila y cosmopolita, muy común creciendo sobre el material vegetal en descomposición y en hojas vivas como invasor secundario, habiendo sido aislado en aire, suelo, alimentos y en muchos otros materiales; esta especie presenta abundante esporulación en diferentes medios (Bensch et al. 2010). El segundo con mayor frecuencia fue *Aspergillus niger*, una especie muy común del género, que se encuentra frecuentemente en la materia orgánica en descomposición y juega un papel significativo en el ciclo global del carbono (Baker 2006). Se destaca en este trabajo que *A. niger* no fue aislada en el pastizal. Por otro lado, el género *Aspergillus* presenta una condición de contaminante y patógeno de semillas. Lezcano et al. (2015) identificaron 3 especies de *Aspergillus* (*A. Flavus* Link, *A. wentii* Wehmer y *A. niger* van Tieghem) asociadas a semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Así como también una capacidad antagónica hacia microorganismos fitopató-

genos como *Penicillium* spp. y *Fusarium* spp. (Quiroz et al. 2008). De las 15 especies aisladas del género *Aspergillus*, solo tres se presentaron en el matorral, *A. sclerotiorum* G.A. Huber, *A. terrus* Thom. y *A. ustus* (Bainier) Thom & Church, por otra parte, se observó una mayor frecuencia del género *Trichoderma*, siendo *T. harzianum* Rifai muy común en el matorral, a diferencia de los otros sitios de colecta donde predominó *Aspergillus*. *Aspergillus sclerotiorum* G.A. Huber, fue la tercera especie con mayor frecuencia en el área agrícola y con ausencia en la plantación de *Eucalyptus* spp. Se conoce que las especies de *Trichoderma* tienen la capacidad de adaptarse a diversos ecosistemas, predominando la microflora de suelos nativos y agrícolas, además de presentar la capacidad de estimular el crecimiento de plantas y actuar como micoparásitos necrotróficos que detectan, invaden y destruyen otros hongos, por lo que se consideran excelentes biocontroladores (Guzmán et al. 2019, Sood et al. 2020), de varios hongos tales como *Rhizoctonia solani* Kühn, *Fusarium* spp., *Verticillium dahliae* Kleb, entre otros más (Barrios y Sandoval 2018), por lo que su aislamiento en los ecosistemas estudiados resulta beneficioso para la interacción con las plantas. Cabe destacar que en el área agrícola solo se presentó con baja ocurrencia *T. harzianum*, una de las 7 especies encontradas en este estudio, sin embargo, en este sitio predominaron otras especies como *A. niger* y *Rhizopus arrhizus*.

Fusarium es otro género que presentó una frecuencia media (0.3 a 5 %), logrando aislarse *F. oxysporum* Schltdl. en todos los sitios, mientras que *F. solani* (Mart.) Sacc. solo estuvo presente en pastizal y uso agrícola, además de un morfotipo de *Fusarium* sp 2, aislado en tres de los usos de suelo. *Fusarium* es un género muy heterogéneo, donde se pueden incluir saprofitos, endófitos y patógenos (Pfenning y Magalhães 2012). En suelos agrícolas donde se utilizan enmiendas orgánicas inmaduras está ampliamente distribuido, considerándose como un hongo parásito facultativo (Sandoval et al. 2020).

Del género *Penicillium* se aislaron 5 especies y 19 morfoespecies diferentes con una frecuencia media a baja (5 a 0.1 %), *P. glabrum* (Wehmer) Westling se presentó en los cuatro usos de suelo, seguido por *P. simplicissimum* (Oudem.) Thom, *Penicillium* sp. 17 y *Penicillium* sp. 19, que se encontraron en 3 de los 4 usos, lo que coincide con lo reportado por Mendoza y Torres (2016), quienes estudiaron la microbiota de suelos de bosque

natural húmedo y bosque intervenido, citando a *Penicillium* como el género con mayor número de morfotipos, indicando un gran acople y desarrollo del género debido a su fácil esporulación, lo que le proporciona ventajas de propagación sobre otros microorganismos. Arias y Heredia (2020) determinaron valores del 2.9 a 76.5 % de abundancia relativa en bosque mesófilo de montaña, con categorías de frecuencia de ocurrencia de muy frecuentes (100 %) a esporádicos (25 %), aislando el 65.5 % (153 spp.) como esporádicos. En este trabajo se encontraron el 48 % de las especies aisladas con una baja frecuencia, ya que se presentaron al menos una vez en algunos de los usos. Godeas (1992), menciona que en la mayoría de las comunidades fúngicas tienen una especie dominante asociada con muchas especies raras, con un cambio en la composición de las comunidades a medida que se produce el proceso de descomposición.

Los suelos Vertisoles presentan una profundidad de más de 25 cm, con alto contenido de arcillas lo que les confiere la característica principal de expansión en épocas húmedas y contracción en épocas secas, formando grietas profundas (González et al. 2011). Los hongos son organismos heterótrofos, que exhiben preferencia selectiva en profundidades del suelo (Giri et al. 2005). Nuestros resultados mostraron diferencias significativas entre las dos profundidades con respecto a la riqueza, la cual es mayor en la profundidad 0-5 cm, lo que se relaciona con una mayor distribución de hongos debido a los diferentes procesos de la descomposición de materia orgánica.

De acuerdo con Valenzuela et al. (2001), el rol funcional de los microorganismos se ve afectado por el cambio en las propiedades edáficas y ambientales ya que esas alteraciones modifican las comunidades fúngicas. Okoth et al. (2009) reportaron que el tipo de suelo o el tipo de planta son factores clave importantes en la ocurrencia de ciertos hongos y su diversidad, encontrando además una correlación positiva de la textura del suelo, principalmente arcillosos, con la distribución de *Trichoderma*. Las propiedades fisicoquímicas analizadas en los sitios de estudio mostraron diferencias entre la interacción de uso de suelo con la profundidad para las variables pH, CE, CIC, Cu, Zn, arcilla, arena y agua disponible, mientras que CO, macro y micronutrientes solo presentaron diferencias entre usos de suelo, pero no en la profundidad. Álvarez y Anzueto (2004) encontraron una correlación positiva de pobla-

ciones microbianas con el porcentaje de arcillas, las cuales contribuyen a los microagregados con un microhábitat para el desarrollo de estas poblaciones. Rosas et al. (2020), no encontraron un efecto importante en las comunidades de hongos debido a los factores ecológicos en suelos degradados, considerando que la diversidad de especies varía según las condiciones específicas de cada suelo y a otros factores ambientales. Mientras que Jangid et al. (2011), consideraron que la historia de uso del suelo es un factor más determinante para la diferenciación de sus propiedades y de la vegetación, atribuido a la lenta recuperación de comunidades microbianas. Dadas las características en las propiedades fisicoquímicas del suelo Vertisol y la baja asociación observada con la abundancia de los hongos, atribuimos al uso de suelo las diferencias asociadas a los hongos identificados.

El matorral espinoso tamaulipeco es una vegetación semiárida-subtropical con especies arbóreas y arbustivas de amplio rango de crecimiento, gran diversidad de plantas nativas y una alta plasticidad para responder a factores físicos externos como el clima (Pequeño et al. 2017). Nogueira et al. (2013), mencionan que los ecosistemas naturales presentan un equilibrio dinámico entre la tasa de aporte y la descomposición de la materia orgánica, predominando la mineralización de nutrientes, esto se refleja con los mayores contenidos de carbono orgánico y nitrógeno en el matorral, indicándonos una mayor actividad microbiana, donde los hongos contribuyen con más del 50 % a la biomasa del suelo (Mendoza y Torres, 2016), lo que refleja la mayor diversidad y riqueza de hongos en este ecosistema.

Los cambios de uso del suelo son actividades indispensables para la economía local y regional, aunque traen como consecuencia una disminución de la biodiversidad. Las actividades agrícolas, tales como la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes o pesticidas, pueden afectar la diversidad y predominio de las especies de hongos en el suelo, los cuales juegan un importante papel en el reciclaje de nutrientes o son mediadores del equilibrio entre los patógenos y sus antagonistas (Giri et al. 2005, Pfenning y Magalhães 2012). El área agrícola presentó una mayor cantidad de hongos aislados pero la menor riqueza específica y diversidad, destacando la presencia de *Aspergillus niger*, *A. sclerotiorum* y *Rhizopus arrhizus*, además de otras 11 especies que solo tuvieron presencia en este sitio. Marcos et al. (2019), reportaron una mayor riqueza de taxones

fúngicos en suelos dedicados a la agricultura continua con sistemas de conservación de residuos en las superficies, a diferencia de los sistemas convencionales de labranza que disminuyen la materia orgánica, lo que provocan cambios importantes en sus propiedades y contenido de nutrientes (Nogueira et al. 2013), que determinan sus patrones de diversidad fúngica.

El área de pastizal presentó el segundo lugar en riqueza, abundancia y diversidad, con los más altos contenidos en P, K, Cu y Fe, con valores similares a los registrados en el matorral a 5-30 cm. Se aislaron 15 especies que tuvieron ocurrencia solo en esta área y predominaron las especies de *Cladosporium cladosporioides*, *Trichoderma harzianum* y *Penicillium glabrum*. Se resalta la mayor concentración de P en la profundidad 0-5 cm para el área del pastizal y contenidos mayores de N para el área de pastizal y agrícola, los cuales participan activamente en las asociaciones microbianas (Cerón y Aristizábal 2012). Wing Ching y Uribe (2016), mencionan que, con cargas adecuadas de ganado, los sistemas de pastoreo reflejan un impacto positivo en la población microbiana del suelo, atribuido a la deposición de excretas y al aporte continuo de C a través de la rizodeposición y la presencia de microorganismo que degradan la materia orgánica.

La plantación de eucaliptos mostró un agrupamiento con el uso de matorral, sin embargo, presentó casi la mitad de la riqueza presente en matorral y la menor abundancia (N= 79), para las dos profundidades. Las especies *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vuill., *Penicillium* sp. 2, *Penicillium* sp. 18, *Pseudopithomyces chartarum* (Berk. & M.A. Curtis) Jun F. Li, Ariyaw. & K.D. Hyde y *Stachybotrys echinatus* (Rivolta) G. Sm., solo tuvieron ocurrencia en este sitio, mientras que, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides* y *Penicillium simplicissimum*, presentaron las mayores abundancias del total de las especies aisladas en la plantación de eucaliptos. Nogueira et al. (2006), citaron que, en reforestación con especies exóticas de eucaliptos, las características químicas y microbianas del suelo son negativas, ya que disminuye la actividad y diversidad microbiana.

CONCLUSIONES

Los hongos cumplen un rol importante en el mantenimiento de los ecosistemas. Los cambios de uso de suelo presentan diferencias tanto en sus propiedades

físicoquímicas, como en la composición de los hongos. Se aislaron un total de 2299 micelios, identificándose 734 morfoespecies, representados por 33 géneros y 90 especies en total.

Se encontraron diferencias en la abundancia, riqueza y diversidad de hongos entre los usos de suelo, en el orden de matorral > pastizal > plantación > agrícola, así como también diferencias entre las dos profundidades (0-5 cm y 5-30 cm).

Las especies *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus niger*, *A. sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium simplicissimum*, *Rhizopus arrhizus* y *Trichoderma harzianum* presentaron las mayores abundancias, mientras que el 48 % de las morfoespecies solo tuvieron una presencia en alguno de los 4 usos de suelos.

Los Vertisoles presentan alta fertilidad inherente a sus propiedades físicoquímicas, su alto contenido de arcilla es un factor fundamental para el desarrollo de las comunidades de hongos, sin embargo, las diferencias reportadas en los cuatros tipos de suelo estudiados no fueron un factor específico en la distribución de los micromicetos, ya que se encontró una baja asociación con las 18 variables analizadas.

En un mismo tipo de suelo, los diferentes usos explican las diferencias encontradas en la riqueza, abundancia y diversidad de hongos identificados, los cuales contribuyen en la función ecológica de los hongos, por lo que esta investigación contribuye al conocimiento y resalta la importancia de las funciones ecosistémicas de los diferentes usos de suelos.

LITERATURA CITADA

- Adl SM. 2003. The ecology of soil decomposition. CABI Publishing, Cambridge.
- Aguirre E, Ulloa M, Aguilar S, Cifuentes J, Valenzuela R. 2014. Biodiversidad de hongos en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85, 76-81. <https://doi.org/10.7550/rmb.33649>
- Alejo G, Salazar FI, García JD, Arrieta BG, Jiménez VM, Sánchez AL. 2012. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. Tropical and Subtropical Agroecosystems 15, 323-328.
- Álvarez JD, Anzueto M de J. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los Altos de Chiapas, México. Agrociencia 38, 13-22. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2004/ene-feb/art-2.pdf>
- Anderson T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 98, 285-293. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00088-4)
- Arias RM, Heredia G. 2020. Diversity of soil culturable fungi in a tropical montane cloud forest of Veracruz, México. Scientia Fungorum 50, 1-12. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1290>

- Arx JA von. 1981. The genera of fungi sporulating in pure culture. 3rd ed. J. Cramer, Vaduz.
- Baker SE. 2006. *Aspergillus niger* genomics: past, present and into the future. *Medical Mycology* 44, 517-521. <https://doi.org/10.1080/13693780600921037>
- Balser TC, Wixon D, Moritz LK, Lipps L. 2010. The microbiology of natural soils. In: Dixon G, Tilston E (eds.). *Soil microbiology and sustainable crop production*. Springer, Dordrecht, 27-57. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9479-7_2
- Barnett H, Hunter B. 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi* 4th ed. APS Press, St. Paul.
- Barrios MB, Sandoval MC. 2018. Caracterización de hongos presentes en suelos con usos contrastantes. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ*, 5(1), 3-9.
- Barron G. 1968. The genera of Hyphomycetes from soil. The Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- Bensch K, Groenewald JZ, Dijksterhuis J, Starink M, Andersen B, Summerell BA, Shin H-D, Dugan FM, Schroers H-J, Braun U, Crous PW. 2010. Species and ecological diversity within the *Cladosporium cladosporioides* complex (Davidiellaceae, Capnoidiales). *Studies in Mycology* 67, 1-94. <https://doi.org/10.3114/sim.2010.67.01>
- Bonkowski M, Roy J. 2005. Soil microbial diversity and soil functioning affect competition among grasses in experimental microcosms. *Oecología* 143, 232-240. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1790-1>
- Cantú I, Díaz KE, Yáñez MI, González H, Martínez RA. 2018. Características fisicoquímicas de un calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (49), 59-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.153>
- Cantú I, Yáñez MI. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (45), 122-151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Cerón RLM, Aristizábal GFA. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología* 14 (1), 285-295. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32889>
- Domsch K, Gams W, Anderson T. 1993. *Compendium of soil fungi* vol. I. IHW-Verlag.
- Ellis M. 1971. *Dematiaceous Hyphomycetes*. CAB, Kew.
- Ellis M 1976. *More Dematiaceous Hyphomycetes*. CAB, Kew.
- Fernández PR, Acevedo DC, Villanueva A, Uribe M. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (35), 65-77.
- Ghosh S, Lockwood P, Daniel H, Hulugalle N, King K, Kristiansen P. 2011. Changes in Vertisol properties as affected by organic amendments application rates. *Soil Use and Management* 27 (2), 195-204. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00333.x>
- Giri B, Hounng P, Kumari R, Prasad R, Varma A. 2005. 2 Microbial diversity in soils. In: Buscot F, Varma A (eds.). *Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions*. *Soil Biology* 3, 19-55.
- Godeas AM. 1992. Estudios de descomposición en plantaciones de *Pinus tadea* III. sucesión fúngica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 28 (1-4), 151-157.
- González H, Domínguez TG, Cantú I, Ramírez MV, Pando M, Fernández CJ. 2011. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at northeastern Mexico. *Plant Ecology* 212, 1747-1757. <https://doi.org/10.1007/s11258-011-9952-9>
- Guzmán P, Porras MD, Olmedo V, Herrera A. 2019. *Trichoderma* species: Versatile plant symbionts. *Phytopathology* 109, 6-16. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>
- Heredia G, Arias RM. 2014. Capítulo 14. Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos. In: Manson RH, Hernández V, Gallina S, Mehltreter K (eds.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 193-210.
- Jangid K, Williams M, Franzluebbers AJ, Schmidt TM, Coleman DC, Whitman B. 2011. Land-use history has a stronger impact n soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 2184-2193. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.022>
- Lezcano JC, Martínez B, Alonso O. 2015. Caracterización cultural y morfológica e identificación de especies de *Aspergillus* asociadas a semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y Forrajes* 38(2), 176-181.
- Luna EO, Cantú I, González H, Marmolejo JG, Yáñez MI, Hernández FJ, Béjar SJ. 2020. Effect of forest management on the physical and hydrological properties of an Umbrisol in the Sierra Madre Occidental. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 27 (1), 19-32. <https://doi.org/10.5154/r.rchsc-fa.2019.11.085>
- Marcos F, Moreno V, Silvestro L, Castellari C, Díaz A, Andreoli Y, Picoe L. 2019. Diversidad fúngica en suelos con diferentes usos en la región Pampeana Argentina. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences (ex Agro-Ciencia)* 35 (2), 163-172. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000301>
- Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing Co. Oxford.
- Marinković J, Bjelić D, Vasin J, Tintor B, Ninkov J. 2012. The distribution of microorganisms in different types of agricultural soils in the Vojvodina province. *Research Journal of Agricultural Science* 44(3), 73-78.
- Mendoza PA, Torres C. 2016. Determinación y comparación de microhongos del suelo de un bosque húmedo premontano en Dagua, Valle del Cauca. *Revista de Ciencias (Universidad del Valle)* 20 (2), 27-35.
- Nag Raj T. 1993. *Coelomycetous Anamorphs with appendage-bearing conidia*. Mycologue Publications, Waterloo.
- Nogueira C, EJ, Figueiredo RL, Bini D, Horta MY, Alcantara C, Roger P, Monteiro A, Shigueyoshi A, de Moraes J, Nogueira MA. 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and managements on soil health? *Scientia Agricola* 70 (4), 274-289.
- Nogueira MA, Albino UB, Brandao O, Braun G, Cruz MF, Dias BA, Duarte RTD, Gioppo NMR, Menna P, Orlandi JM, Raimam MP, Rampazo LGL, Santos MA, Silva MEZ, Vieira FP, Torezan JMD,

- Hungria M, Andrade G. 2006. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment* 115, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.008>
- Okoth SA, Okoth P, Muya E. 2009. Influence of soil chemical and physical properties on occurrence of *Trichoderma* spp. in Embu, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 11, 303-312.
- Pequeño MA, Alanís E, Jiménez J, Aguirre OA, González MA, Molina VM. 2017. Análisis estructural de dos áreas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Madera y Bosques* 23 (1), 121-132. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311125>
- Pfenning LH, Magalhães L. 2012. Hongos del suelo saprófitos y patógenos de plantas. In: Moreira FMS, Huisin EJ, Bignell DE (eds.). *Manual de biología de suelos tropicales*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Quiroz VF, Ferrera R, Alarcón A, Lara ME. 2008. Antagonismo *in vitro* de cepas de *Aspergillus* y *Trichoderma* hacia hongos filamentosos que afectan al cultivo del ajo. *Revista Mexicana de Micología* 26, 27-34.
- Rosas M, Maciá JG, Piepenbring M. 2020. Diversity of fungi in soils with different degrees of degradation in Germany and Panama. *Mycobiology* 48 (1), 20-28. <https://doi.org/10.1080/12298093.2019.1700658>
- Samaniego JA, Chew Y. 2007. Diversidad de géneros de hongos del suelo en tres campos con diferente condición agrícola en la Laguna, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78, 383-390. <http://ib.unam.mx/revista/articulo/583>
- Sandoval MC, Barrios MB, Botti C, Fernández MV, Gilardo MS, Piwowarczuck C, Rafart E, Ruíz C, Salvarezza A, Tagliatela D. 2020. Diversidad fúngica (micromicetes) en suelo de cultivos hortícolas bajo sistema familiar de producción en Florencio Varela, provincia de Buenos Aires. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental*. Facultad de Ciencias Agrarias UNLZ 7(3), 19-27.
- SEMARNAT 2002. NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos: estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D.F.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 2003. *Biometry: The principles and practice of statistic in biological research*. 3rd ed. W.H. Freeman and Co. Nueva York.
- Sood M, Kapoor D, Kumar V, Sheteiw MS, Ramakrishnan M, Landi M, Araniti F, Sharma A. 2020. *Trichoderma*: The "secrets" of a multitasking biocontrol agent. *Plant* 9, 762. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>
- Sutton, B. 1980. *The Coelomycetes*. Commonwealth Mycological Institute, Kew.
- Valenzuela E, Leiva S, Godoy R. 2001. Variación estacional y potencial enzimático de microhongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*. *Revista Chilena de Historia Natural* 74, 737-749.
- Waldrop M, Balsler T, Firestone M. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1837-1846.
- Wing Ching R, Uribe L. 2016. Biomasa y actividad microbiana en suelos de uso ganadero y en regeneración de bosque. *Cuadernos de Investigación UNED* 8 (1), 106-144. <https://doi.org/10.22458/urj.v8i1.1231>
- Woerner M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Departamento Agroforestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares.
- Wu JJ. 2008. Land use changes: Economic, social, and environmental impacts. *Choices* 23 (4), 6-10. <https://www.jstor.org/stable/choices.23.4.0006>
- Yáñez MI, Cantú I, González H. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un Vertisol. *Terra Latinoamericana* 36, 369-379. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Zabala M, Gómez Y. 2010. Biomasa fúngica y bacteriana como indicadores del secuestro de C en suelos de sabanas sustituidos por pinares en Uverito, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 58 (3), 977-989.