



Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani, Comunidad Choquenaira-Viacha Filamentous soil fungi communities on K'iphak'iphani agroecosystems, Choquenaira-Viacha Municipality

Pacasa-Quisbert Fernando^{1*}, Loza-Murguía Manuel Gregorio^{2,3}, Bonifacio-Flores Alejandro¹,
Vino-Nina Lourdes¹, Serrano-Canaviri Teófilo¹

Datos del Artículo

¹Universidad Católica Boliviana San Pablo - UCBS, Unidad Académica Campesina Tiahuanacu UAC-T. Ingeniería Agronómica. Km 74. Carretera Internacional La Paz-Desaguadero. Tel +591-2-2895100. La Paz, Bolivia.

²Universidad Católica Boliviana San Pablo - UCBS, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa-UAC-CP, Ingeniería Agronómica. Coroico-Nor Yungas-La Paz, Bolivia. +591(2)8781991.

³Departamento de Enseñanza e Investigación en Bioquímica & Microbiología-DEI&BM. Unidad Académica Campesina Carmen Pampa-UAC-CP.

***Dirección de contacto:**
Unidad Académica Campesina Tiahuanacu UAC-T. Ingeniería Agronómica. Km 74. Carretera Internacional La Paz-Desaguadero. Tel +591-71206613. La Paz, Bolivia

Fernando Pacasa-Quisbert
E-mail address: pacasafer@gmail.com

Palabras clave:

Agroecosistema,
altiplano del Estado Plurinacional de Bolivia,
hongos filamentosos del suelo,
UFC's,
diversidad de hongos,
manejo del suelo.

J. Selva Andina Res. Soc.
2017; 8(1):2-25.

Historial del artículo.

Recibido febrero, 2015.
Devuelto noviembre 2015
Aceptado noviembre, 2016.
Disponible en línea, febrero, 2017.

Editado por:
Selva Andina
Research Society

Resumen

Los hongos del suelo desempeñan funciones muy importantes en los ecosistemas y estas poblaciones están muy relacionadas con el tipo de suelo, características climáticas, otros microorganismos y comunidades de plantas. Las actividades del hombre, principalmente la agricultura altera su hábitat y por lo tanto afecta la diversidad de hongos y a sus funciones. Basados en muestras de suelos tomadas en transeptos (50 m) siguiendo la pendiente del terreno en un agroecosistema del altiplano del Estado Plurinacional de Bolivia, se evaluó el efecto del tipo de uso del suelo (TUS), tipo de vegetación nativa (TVN) y tipo de cultivo (TC) sobre unidades formadoras de colonias (UFC's), número de especies y parámetros físicos, químicos y biológicos, además la diversidad y número de hongos filamentosos fueron relacionados con parámetros físicos y químicos del suelo (pH, textura, materia orgánica), así mismo, los hongos fueron descritos macro y microscópicamente e identificados taxonómicamente. El TUS, TVN y TC influyeron diferentemente sobre el pH, textura y % MO del suelo. El TUS y TC afectaron significativamente las UFC's y número de especies. UFC's fueron altas en cultivos de papa y número de especies en *Trifolium* sp., 44 especies fueron aisladas predominando géneros de *Penicillium* y *Alternaria*. Las relaciones entre UFC's con MO fueron no significativas y débiles ($r^2 = 32.1$, $p > 0.05$), con pH significativas y relación positiva fuerte ($r^2 = 47.7$, $p < 0.05$) y con textura no significativa y sin relación ($r^2 = 8.6$, $p > 0.05$). Los resultados sugieren que el tipo de uso de suelo afecta a las propiedades del suelo, diversidad de plantas y comunidad de hongos. Adicionalmente se necesita investigar otros parámetros que influyen en la comunidad microbiana en el agroecosistema.

© 2017. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

Soil fungi play important roles in ecosystems and these populations are closely related to soil type, climatic characteristics, other microorganisms and plant communities. People's activities, mainly agriculture alter their habitat and therefore affect fungi diversity and functions on soil. The effects of soil use type (TUS), native vegetation type (TVN) and crop type (TC) on colony forming units (CFU), number of species and physical, chemical and biological parameters was assessments in the present work in Plurinational State of Bolivian's highland agroecosystem. In addition, the diversity and number of filamentous fungi were related to physical and chemical soil parameters (pH, texture, organic matter). The fungi were described macro- and microscopically and were taxonomically identified. The TUS, TVN and TC influenced differently on the pH, soil texture and soil organic matter (SOM). The TUS and TC significantly affected the CFU's and number of species. CFU's were high in crop potato and number of species

Key words:

agroecosystem,
Bolivia's highland,
filamentous soil fungi,
fungi diversity,
UFC's,
soil management.

in *Trifolium* sp., 44 species were isolated, predominating genera of *Penicillium* and *Alternaria*. The relationships between SOM were non-significant and weak ($r^2 = 32.1$, $p > 0.05$), pH, significant and strong positive relation ($r^2 = 47.7$, $p < 0.05$) and soil texture vs CFU's no significant and unrelated ($r^2 = 8.6$, $p > 0.05$). The results suggest that the soil use type affect in soil properties, plant diversity and community fungi. Additionally, it is necessary to investigate other parameters that influence the microbial community in the agroecosystem.

© 2017. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

El suelo es un ambiente complejo que ofrece una alta variedad de microhábitats para la gran biodiversidad microbiana de diversos grupos de microorganismos, como virus, bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos (Webster & Weber 2007, Moreira & Siquiera 2006). Las bacterias representan en general el mayor número, en cambio los hongos el mayor porcentaje de la biomasa microbiana de los suelos. Las bacterias y hongos, integrantes más estudiados en relación a otras comunidades de microorganismos (Coyne 2000). Los hongos del suelo de regiones áridas, semiáridas, hasta en regiones tropicales no han sido estudiados ampliamente (Christensen 1969, Flanagan 1981, Domsch *et al.* 1980). En zonas áridas son característicos los hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (Flanagan 1981) *Penicillium* es abundante en temperaturas y climas fríos, mientras *Aspergillus* predominan en climas templados, sin embargo todos los hongos son regulados por la cantidad y calidad del sustrato (Paul 2007), se han detectado géneros de *Beauveria* y *Metarhizium* distribuidos en el altiplano central de La Paz (Rojas-Gutiérrez 2014).

La mayor abundancia de hongos se hallan en las capas u horizontes superficiales del suelo, donde el microclima, ambiente y disponibilidad de recursos

nutricionales son favorables para el desarrollo y crecimiento de hongos (Lavelle & Spain 2001), pero escasos a causa de la compactación de los suelos, agricultura convencional y aplicación de sustancias químicas (Coyne 2000).

El tipo de uso del suelo (TUS) tiene efectos considerables sobre la diversidad de plantas (DeFries *et al.* 2004), que al establecer relaciones con las comunidades de hongos, disminuye la diversidad y abundancia de estos hongos por los daños ocasionados (Sivila & Hervé 1999, Cabello & Arambarri 2002).

La diversidad biológica de hongos en Bolivia son escasamente documentados (Arias-Mota *et al.* 2007), así como también de las relaciones que podrían existir entre la diversidad de hongos y micorrizas con algunas características del suelo y recuperación de la fertilidad de los suelos en el altiplano central de Bolivia (Sivila & Hervé 1999, Sivila de Cary & Angulo 2006).

El agroecosistema en estudio K'iphak'iphani, ubicado en el altiplano central boliviano, comprende una región con diferentes manejos de suelos destinados a la producción agrícola en rotación y producción ganadera. Las características del suelo están

condicionadas de acuerdo al tipo de uso, existiendo zonas marcadas por esta causa.

Los objetivos del presente trabajo fueron: *i*) determinar el efecto del tipo de manejo del suelo, tipo de cultivo y tipo de vegetación nativa sobre la diversidad y abundancia de hongos filamentosos en suelos, *ii*) establecer relaciones entre las propiedades del suelo con UFC's de hongos, y *iii*) caracterizar la diversidad de hongos del suelo en el agroecosistema de K'iphak'iphani, comunidad Choquenaira-Viacha, departamento de La Paz. Este estudio fue realizado en el periodo de verano austral desde diciembre a enero, cuando las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de los cultivos, vegetación nativa y microorganismos.

Materiales y métodos

Área de estudio y clima regional. El área de estudio está localizada en el centro del altiplano boliviano (Municipio de Viacha, Provincia Ingávi, Departamento de La Paz-Estado Plurinacional de Bolivia), ubicada geográficamente entre las coordenadas 16° 39' 47'' latitud sur y 68° 18' 16'' latitud oeste con una altitud promedio de 3885 msnm. En general, comprende el clima propio del altiplano central boliviano con temperaturas medias de 8.41 °C, máximas de 17.45 °C y mínimas de 1 °C, precipitaciones anuales de 524 mm, humedad relativa media anual de 72%. Presenta una distribución normal de una estación seca desde abril a octubre y estación húmeda de noviembre a marzo. PDM Viacha 2012).

Caracterización del agroecosistema. La caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agroecosistema fue realizada para establecer factores que afectan a la distribución de los hongos del suelo, fueron caracterizados el tipo de uso del suelo, vegetación nativa y cultivo estableci-

do, factores físicos y químicos. Los datos de pH, materia orgánica (MO) (%), Conductividad eléctrica (CE) y textura del suelo (TS), % de arena (A) fueron análisis de las muestras de suelo en un laboratorio de especialidad Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN).

Muestreo de suelos. Los sitios de muestreos fueron clasificados con las recomendaciones de Bills *et al.* (2004) divididos en tres factores e independientes con diferentes tratamientos, *i*) Tipo de uso del suelo (TUS: suelos con cultivo, suelos en descanso, suelos naturales y suelos sin cobertura), *ii*) Tipo de cultivo (TC: cultivo quinua, papa y cebada) y *iii*) Tipo de vegetación nativa (TVN: sitios vegetales de *Festuca* sp., *Trifolium* sp., *Herodium* sp., y *Distichlis* sp.) que existen en el agroecosistema, previó historial del lugar y diagnóstico en campo.

La disposición de los muestreos fue de acuerdo a transeptos de 50 m siguiendo la pendiente del terreno, en cada punto de muestreo se acopiaron 6 submuestras para formar una muestra compuesta de suelo de una parcela, las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 15 cm, a razón de 400 a 500 g de suelo, empleándose un extractor de núcleo en suelos suaves, o pala y picota en suelos duros o con rocas, para cada muestreo los materiales fueron desinfectados sumergiéndolos en un recipiente que contenía solución de hipoclorito al 10%, para el manipuleo de los materiales y muestreo se usó guantes descartables evitándose toda posible contaminación. A continuación fueron almacenadas en bolsas plásticas estériles, llevadas en una caja de almacenamiento, seguidamente fueron transportadas al laboratorio para procesarlas el mismo día.

Aislamiento de hongos. De la cantidad total de muestra se separó 100 g de suelo tamizado, inmediatamente fueron procesadas mediante tres técnicas de aislamiento para el conteo de unidades formado-

ras de colonias (UFC's) y obtención de máximos aislamientos de hongos filamentosos desde el suelo. Para los aislamientos de hongos filamentosos del suelo se empleó los métodos: *i*) Dilución en placas, *ii*) Siembra directa (Bills *et al.* 2004), *iii*) Placas de suelo (Warcup 1950), que fueron extendidas sobre la superficie de los medios de cultivo papa dextrosa agar (PDA), hongos levaduras papa (HLP), harina maíz papa (HMA), agar extracto de suelo (AES) y sabouraud agar (SA) adicionando cloranfenicol a razón de 0.05 mg mL⁻¹ para evitar el crecimiento bacteriano en las cajas Petri, finalmente se llevó las placas Petri a incubación por tres a siete días a 22 °C para posterior recuento de colonias y obtención de cultivos puros.

Recuento y aislamiento a cultivos puros. El recuento UFC's después de 5 días de incubación, en siembras con medio PDA, fueron numerados las colonias donde tuvieron un crecimiento entre 30 a 300 UFC's, empleando la ecuación de recuento en placa se expresó en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC's g⁻¹) para posterior análisis estadístico (Bills *et al.* 2004).

Los aislamientos realizados de las diferentes muestras de suelos mediante las tres técnicas y los cinco medios de cultivo, fueron utilizados para el aislamiento a cultivos puros. Después del periodo de incubación (3 a 5 días), se observó el crecimiento de diferentes UFC's, posteriormente de acuerdo al color, forma, con un aza bacteriológica se hizo el repique a un medio definitivo (PDA) e incubadas por 4 días a 25 °C. Durante este periodo fueron aislándose entre aquellas UFC's que presentaban semejanza en su crecimiento, color, forma dentro y fuera de la caja Petri para que no existieran cultivos puros repetidos.

Descripción macro y microscópicas. Las características macroscópicas de las UFC's se describieron

según Watanabe (2010), fueron descritos a los siete días después de la incubación por el anverso y reverso que presentaban las UFC's en caja Petri, por *Anverso*, de acuerdo a las características del cultivo como: *i*) color de la superficie y contorno de la colonia, *ii*) textura, *iii*) color del pigmento exudado y *iv*) forma de la colonia y del margen, *Reverso*, de acuerdo *i*) al color de la parte interior, media y borde de la colonia, *ii*) superficie interior y *iii*) exterior de la colonia.

Para observaciones preliminares del hongo filamentosos al microscopio, se empleó la técnica de la cinta pegante (Díaz *et al.* 1999), que consiste en extraer fragmentos de la colonia presionando suavemente el lado pegante de la cinta sobre el micelio aéreo del hongo y poner la cinta sobre porta objetos con una gota de azul de lactofenol y observar al microscopio las características morfológicas del micelio y órganos reproductivos con aumentos de 40X para su identificación taxonómica de género.

La identificación de géneros de hongos filamentosos fue realizada con la técnica de micro cultivo (Díaz *et al.* 1999), posteriormente se observó al microscopio las estructuras de los hongos filamentosos, se fotografió el micelio y estructuras reproductivas, las fotografías fueron comparadas con descripciones originales. Las identificaciones taxonómicas presumibles de los géneros de hongos filamentosos fue tomando en cuenta las características microscópicas, luego se comparó con la literatura de claves taxonómicas de Barnett & Hunter 1998, Kirk *et al.* 2008, Watanabe 2010, Samson *et al.* 2014. Aquellas no identificados fueron denominados como cepas no tipificadas.

Análisis de datos e interacciones. El análisis de los datos fue a través de un diseño experimental completamente al azar y con tres repeticiones por tratamiento, los factores en estudio se evaluaron por

separado y no hubo interacción entre estos, cada factor fue independiente. Las comparaciones entre medias se efectuaron con la prueba de medias de Duncan con nivel de significancia del 5%. Las variables de respuesta para determinar el efecto del TUS, TC y TVN fueron *i)* Número de especies de hongos filamentosos (unidades), *ii)* Unidades formadoras de colonias de hongos por gramo de suelo (UFC's g de suelo⁻¹).

Los datos de pH, MO (%) y TS (% de A), fueron confrontados con la abundancia de hongos filamentosos mediante un análisis estadístico de regresión lineal simple. Además se emplearon el coeficiente de correlación de Pearson y de determinación, para medir el grado de relación entre las variables.

Resultados

Características del agroecosistema

Topografía y climatología. El agroecosistema de K'iphak'iphani está localizada entre los paralelos 16°39'30'' a 16°40'42'' latitud sur y 68°18'05'' a

68°17'18'' longitud oeste. La topografía está integrada por planicies, laderas y cumbres de cerros con ondulaciones anchas y suaves. Tiene una altitud media de 3853 msnm (ladera) y 3947 msnm (cumbre). El régimen climatológico se caracteriza por dos estaciones diferentes, precipitaciones en estación lluviosa (noviembre-marzo) y posteriormente van reduciéndose y dan paso a la estación seca (mayo-octubre), la precipitación promedio anual es de 494 mm, temperatura promedio de 9.56 °C, mínima y máxima de -12 a 17°C y humedad relativa del 55%.

Uso del suelo. El uso del suelo dentro del agroecosistema son: *i)* suelos productivos mayormente ubicados en la planicie, con cultivos como quinua, cebada, avena y papa que se basan en la rotación de cultivos y del suelo con periodos de descanso de 3 a 5 años (suelos en descanso), en donde la vegetación nativa nuevamente vuelve a poblar el terreno después del ciclo agrícola con labranza y siembra mecanizada, *ii)* suelos sin intervención (naturales), ubicados en las laderas de los cerros planicies,

Tabla 1 Propiedades físico-químico y materia orgánica de acuerdo al tipo de: uso de suelo, cultivo y vegetación nativa en el agroecosistema K'iphak'iphani

Factor	Textura	pH	CE dS m ⁻¹	MO %
Tipo de uso de Suelo				
Suelo natural	Franco arcilloso	7.23	0.08	5.38
Suelos en descanso	Arcilloso	7.41	0.15	1.01
Suelos con cultivo	Franco arcilloso arenoso	7.56	0.18	0.87
Suelos sin cobertura	Arcilloso	6.86	0.14	0.7
Tipo de cultivo				
Cultivo quinua	Franco arcilloso arenoso	7.89	0.21	0.78
Cultivo cebada	Franco arcilloso arenoso	7.25	0.13	1.41
Cultivo papa	Franco arcilloso	7.36	0.11	1.87
Tipo de vegetación nativa				
<i>Festuca</i> sp.	Arcilloso	7.06	0.05	8.97
<i>Herodium</i> sp.	Franco arcilloso	6.65	0.07	5.62
<i>Distichlis</i> sp.	Arcilloso	6.86	0.03	5.07
<i>Trifolium</i> sp.	Franco arcilloso arenoso	7.26	0.03	1.72

formado por una capa superficial de suelo no profunda de 5 a 10 cm y por debajo roca (cerro) y suelos profundos de 30 a 60 (planicies), destinados principalmente al pastoreo ya que existen una diversidad de plantas, *iii*) suelos sin cobertura vegetal -o

muy escasa- que resultan de la actividad mecánica por remoción de la capa arable, laboreo y compactado, situados en las laderas de los cerros y pocos en las planicies.

Tabla 2 Diversidad de plantas en el agroecosistema según el tipo del uso de suelo

Uso del suelo	Especie de plantas	
	Nombres comunes	Nombres científicos
Natural (puruma)	Ch'illiwa	<i>Festuca</i> sp.
	Thola	<i>Parastrephia</i> sp.
		<i>Deyeuxia</i> sp.
	Thola	<i>Baccharis</i> sp.
		<i>Opuntia</i> sp.
		<i>Adesmia</i> sp.
	K'oa	<i>Clinopodium</i> sp.
		<i>Agrostis</i> sp.
	Cola de ratón	<i>Herodium</i> sp.
	cebadilla	<i>Bromus</i> sp.
	Iru	<i>Stipa</i> sp.
		<i>Dischitia</i> sp.
	Ch'iji	<i>Trifolium</i> sp.
Con cultivo	Diente de león	<i>Muhlenbergia</i> sp.
	Muni muni	<i>Taraxacum</i> sp.
		<i>Bidens</i> sp.
		<i>Distichlis</i> sp.
En descanso		<i>Carex</i> sp.
	Cebada.	<i>Hordeum vulgare</i> .
	Papa.	<i>Solanum</i> sp.
	Quinua.	<i>Chenopodium</i> sp.
Sin cobertura	Cañahua.	<i>Chenopodium</i> sp.
		<i>Festuca</i> sp.
		<i>Hordeum</i> sp.
		<i>Poa</i> sp.

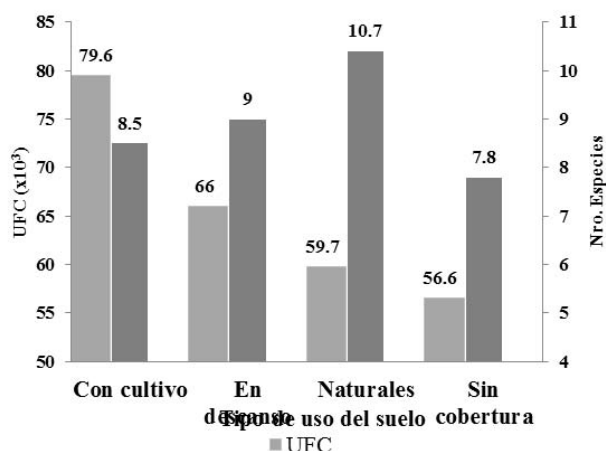
Propiedades físicas, químicas y biológicas. De acuerdo al análisis de suelos (Tabla 1), estos presentan variadas características según el tipo de uso de suelo, vegetación nativa y cultivo. Destacan texturas del tipo franco arcillo arenosas. El pH del suelo también varía de un lugar a otro, desde el mínimo de 6.65 (Vegetación nativa; *Herodium* sp.) hasta un máximo de 7.89 (cultivo quinua) y se encuentran en el rango de neutro a ligeramente alcalino. Por otro lado la conductividad eléctrica varía desde 0.03 (*Distichlis* sp., *Trifolium* sp.) a 0.21 (cultivo quinua) dS m⁻¹.

La distribución de la MO va modificándose de acuerdo al uso del suelo, los valores máximos se encuentran en las zonas de vegetación natural o no perturbadas (suelo natural y vegetaciones nativas), las mínimas donde se realizan agricultura (suelos con cultivo y en descanso) y sin cobertura vegetal.

Diversidad de plantas. La mayor diversidad de plantas se presenta en el tipo de uso del suelo natural sin intervención o perturbación. Algunas especies nativas se agrupan en sitios vegetales determinados y distribuidos dentro de los suelos naturales. Los suelos en descanso presentan pocas especies mayormente plantas anuales. Por otro lado existen

en el tipo de uso de suelo con cultivos, cultivos agrícolas como: *Solanum* sp., *Hordeum* sp., y *Chenopodium* sp. (Tabla 2).

Figura 1 Efecto del tipo de uso de suelo sobre el número de UFC's y especies de hongos filamentosos



Efecto del uso del suelo, vegetación y cultivo sobre hongos filamentosos

Efecto del tipo de uso del suelo. La comparación de medias Duncan al 5 % de significancia para la variable de respuesta UFC's, por el efecto del tipo de uso del suelo (Figura 1) muestran diferencias estadísticas entre tratamientos, en primer lugar las UFC's forman tres grupos, el cual los Suelos con Cultivos presentan mayor UFC's con 7.96×10^4 y forma el primer grupo. El segundo grupo forma los Suelos en Descanso y Suelos Naturales que son similares estadísticamente con 6.6×10^4 y 5.97×10^4 UFC's. El Suelo sin cobertura presenta menor cantidad de UFC con 5.66×10^4 .

Efecto del tipo de vegetación nativa. La figura 2, muestra la prueba Duncan en el cual no existen diferencias estadísticas para UFC's, pero si existen diferencias numéricas. En cambio si presenta diferencias en el número de especies de hongos filamentosos y forma dos grupos, el tratamiento Vegetación Nativa *Trifolium* sp., tiene mayor especies de hongos

y forma el primer grupo con 10.4 y el segundo grupo los tratamientos de Vegetaciones Nativas de *Festuca* sp., con 9, *Herodium* sp., y *Distichlis* sp., ambos con 8.5.

Figura 2 Efecto del tipo de vegetación nativa sobre el número de UFC's y especies de hongos filamentosos

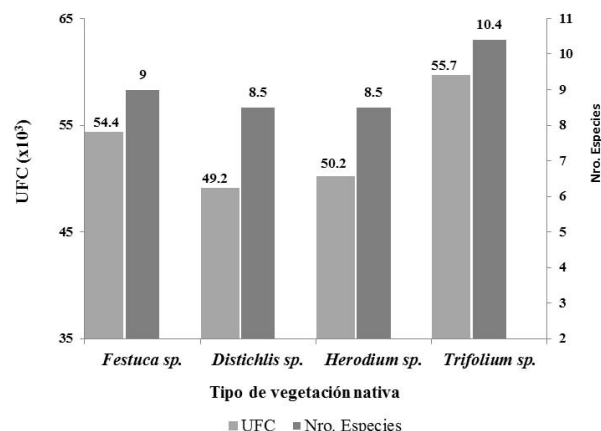
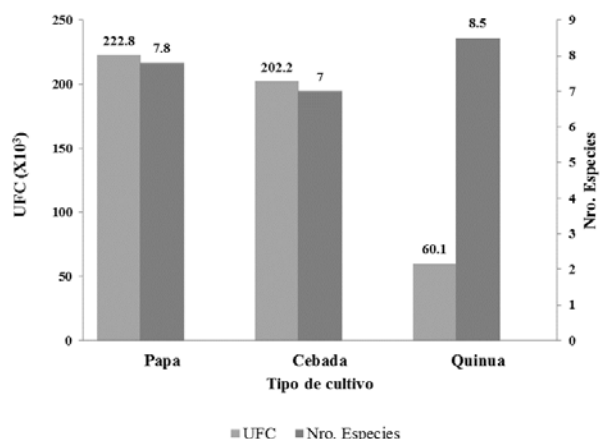


Figura 3 Efecto del tipo de cultivo sobre el número de UFC's y especies de hongos filamentosos



Efecto del tipo de cultivo. Según la figura 3 se observa los valores numéricos y la prueba de medias Duncan del efecto del tipo de cultivo sobre las UFC's y el número de especies. Las UFC's de hongos muestran que los suelos con cultivos de papa y cebada son similares estadísticamente con prome-

dios de 22.2×10^4 y 20.2×10^4 , así mismo son diferentes a los suelos con cultivo de quinua con 6.01×10^4 . Para el número de especies el suelos con cultivo de quinua y papa presentan similitudes con promedios

de 8.5 y 7.8 especies, los suelos con cultivo de cebada presento un promedio bajo con 7 especies.

Figura 4 Desarrollo macroscópico de las colonias de hongos filamentosos (anverso)

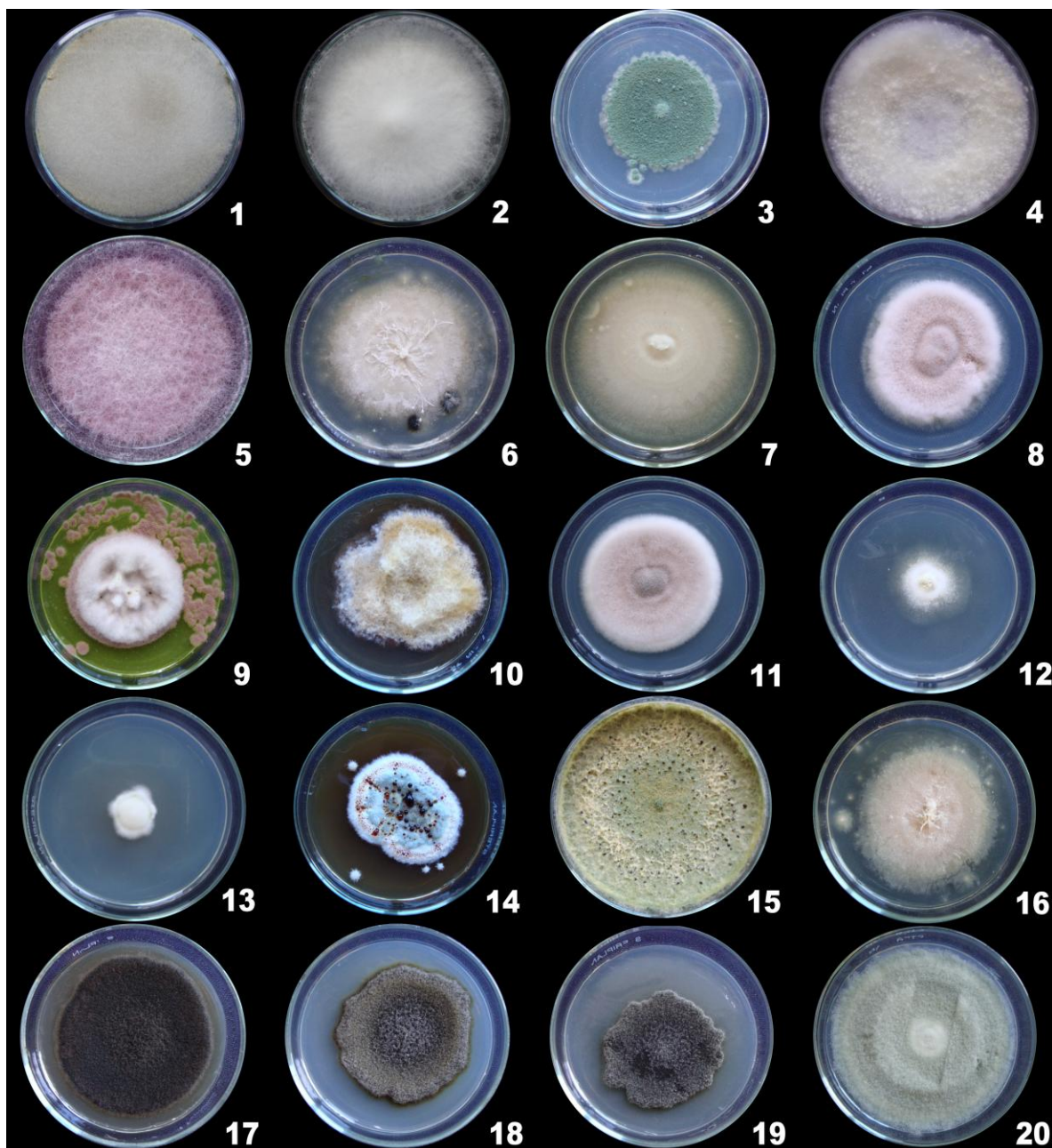


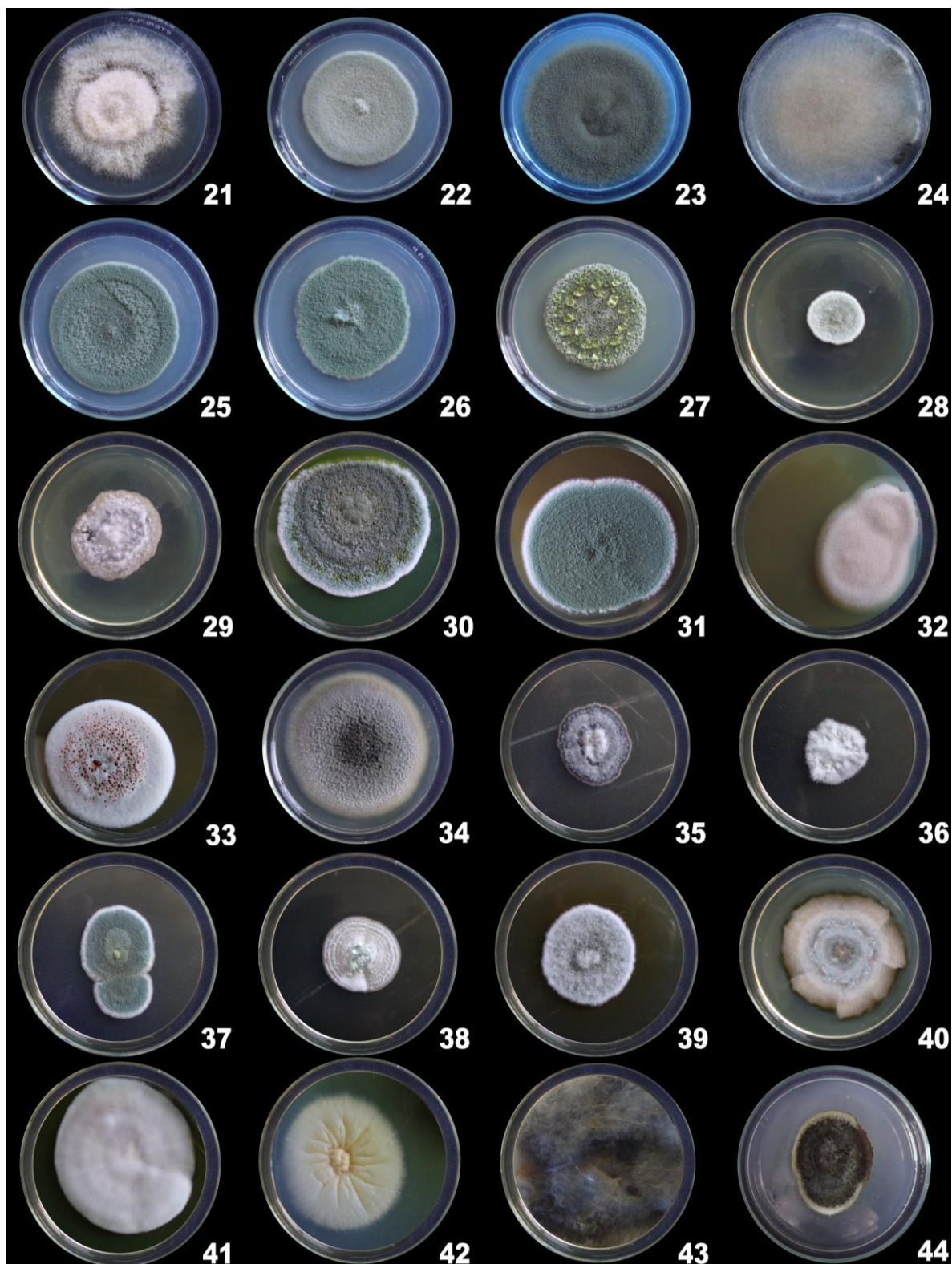
Figura 4 Desarrollo macroscópico de las colonias de hongos filamentosos (anverso) (*Continuación*)

Figura 5 Desarrollo macroscópicas de las colonias de hongos filamentosos (reverso)

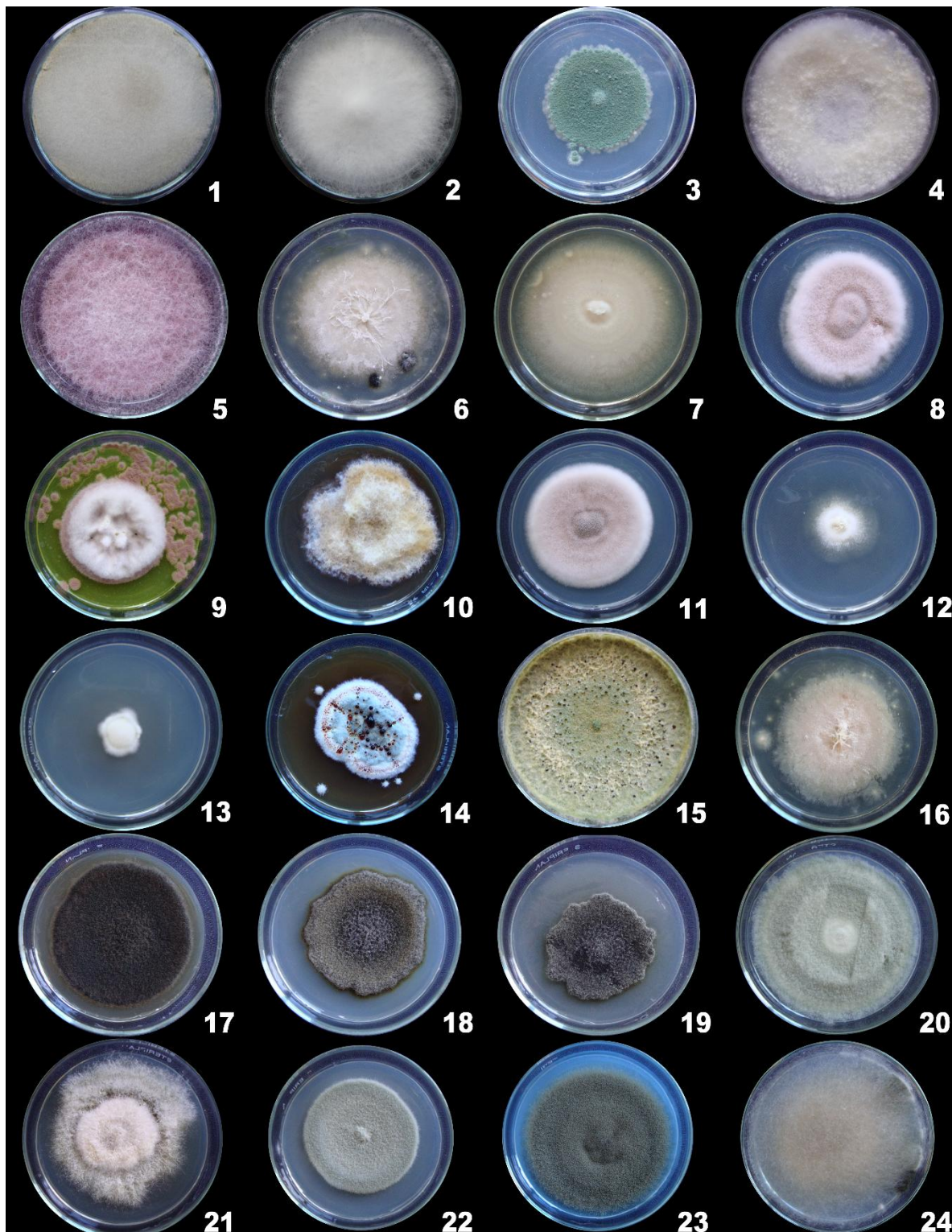


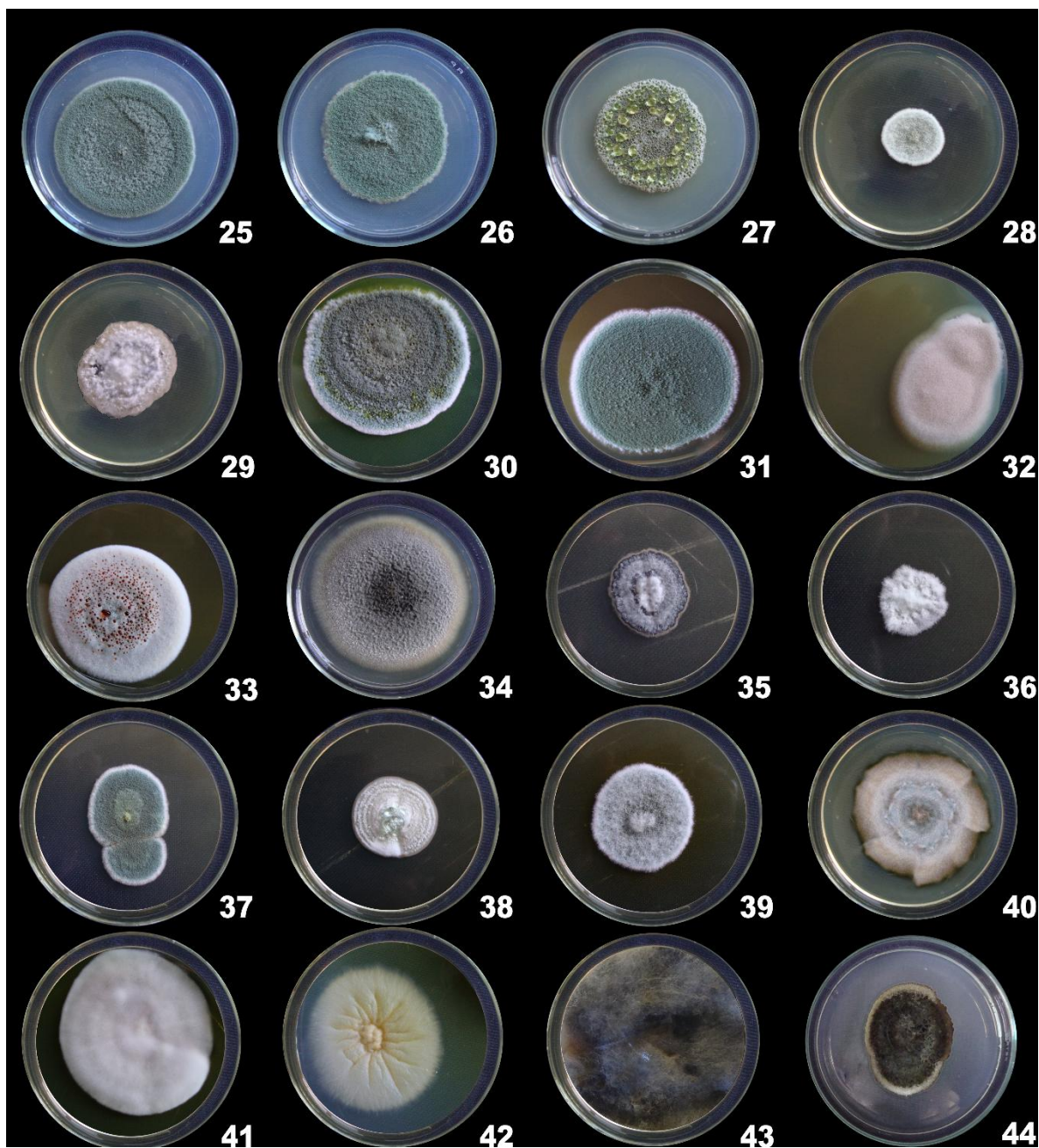
Figura 5 Desarrollo macroscópicas de las colonias de hongos filamentosos (reverso) (*Continuación*)

Figura 6 Observaciones microscópicas a 40X de las colonias de hongos filamentosos

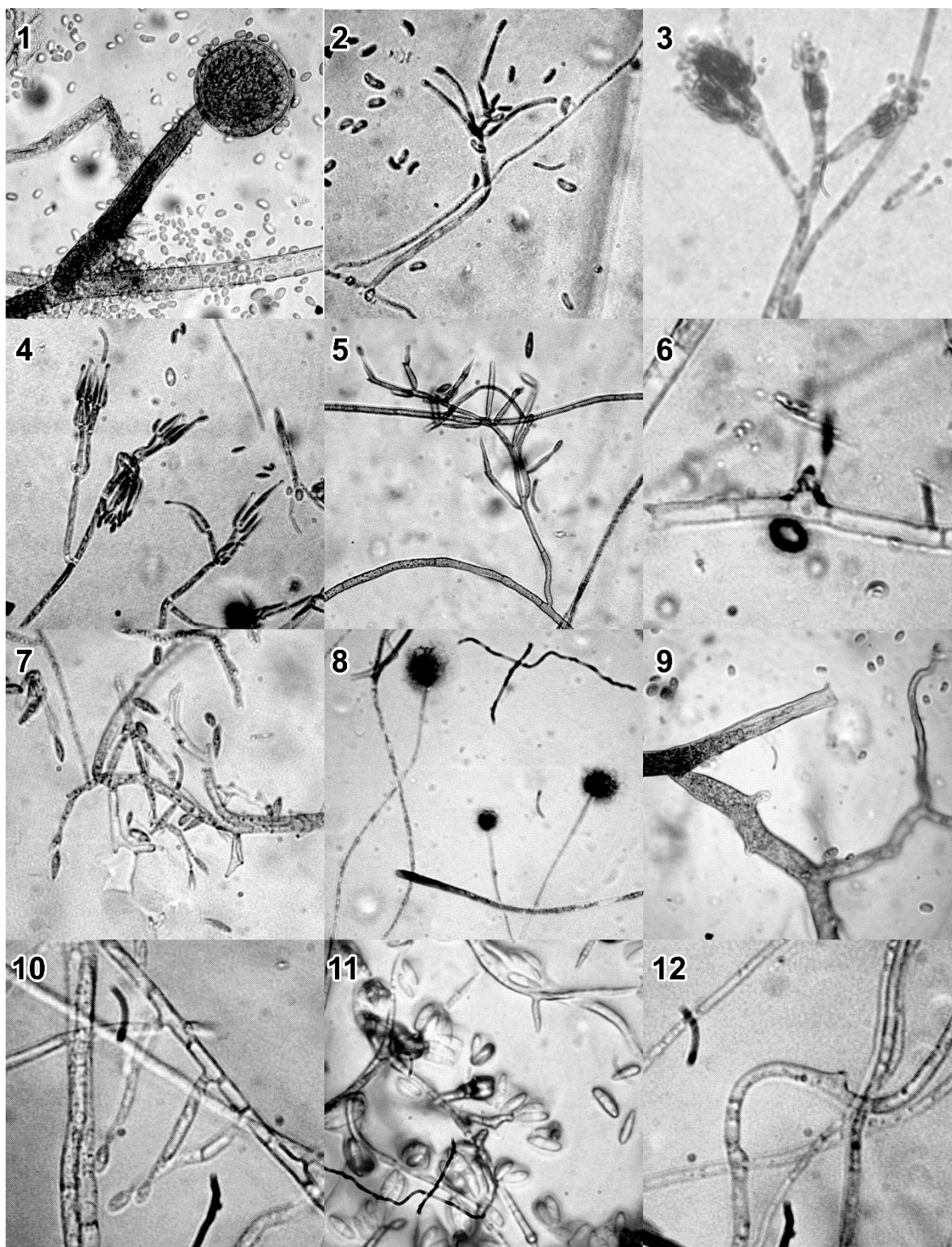


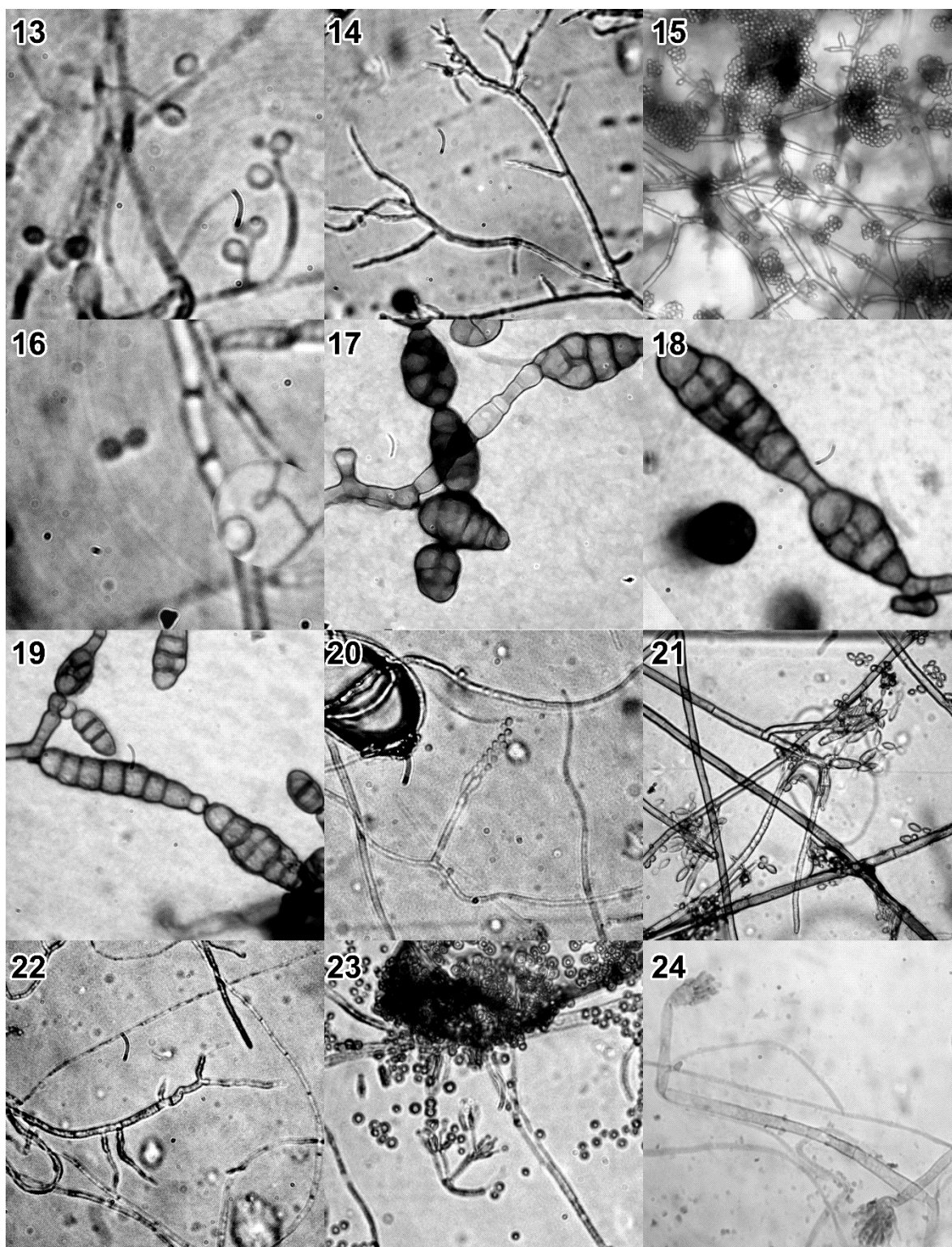
Figura 6 Observaciones microscópicas a 40X de las colonias de hongos filamentosos (*Continuación*)

Figura 6 Observaciones microscópicas a 40X de las colonias de hongos filamentosos (*Continuación*)

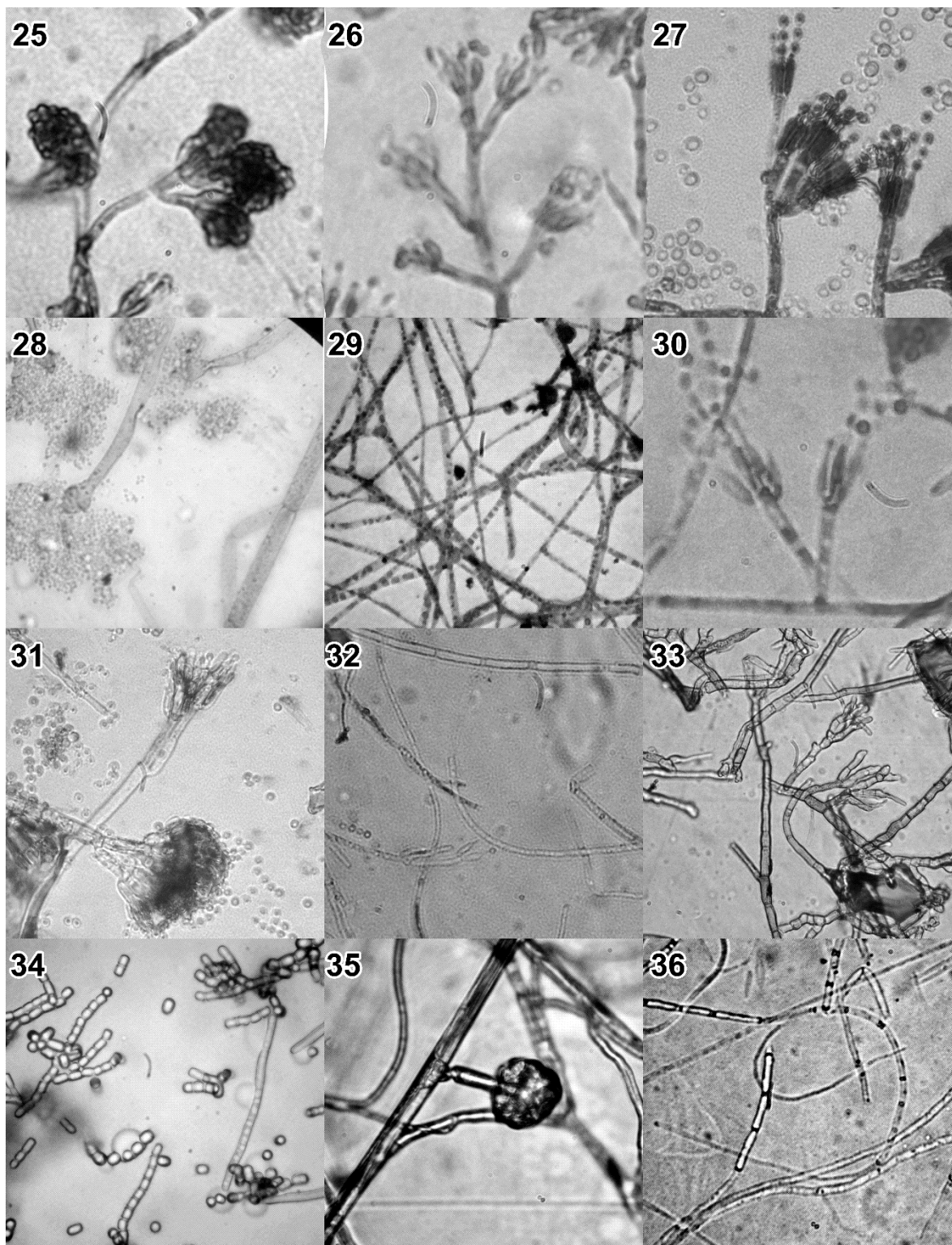
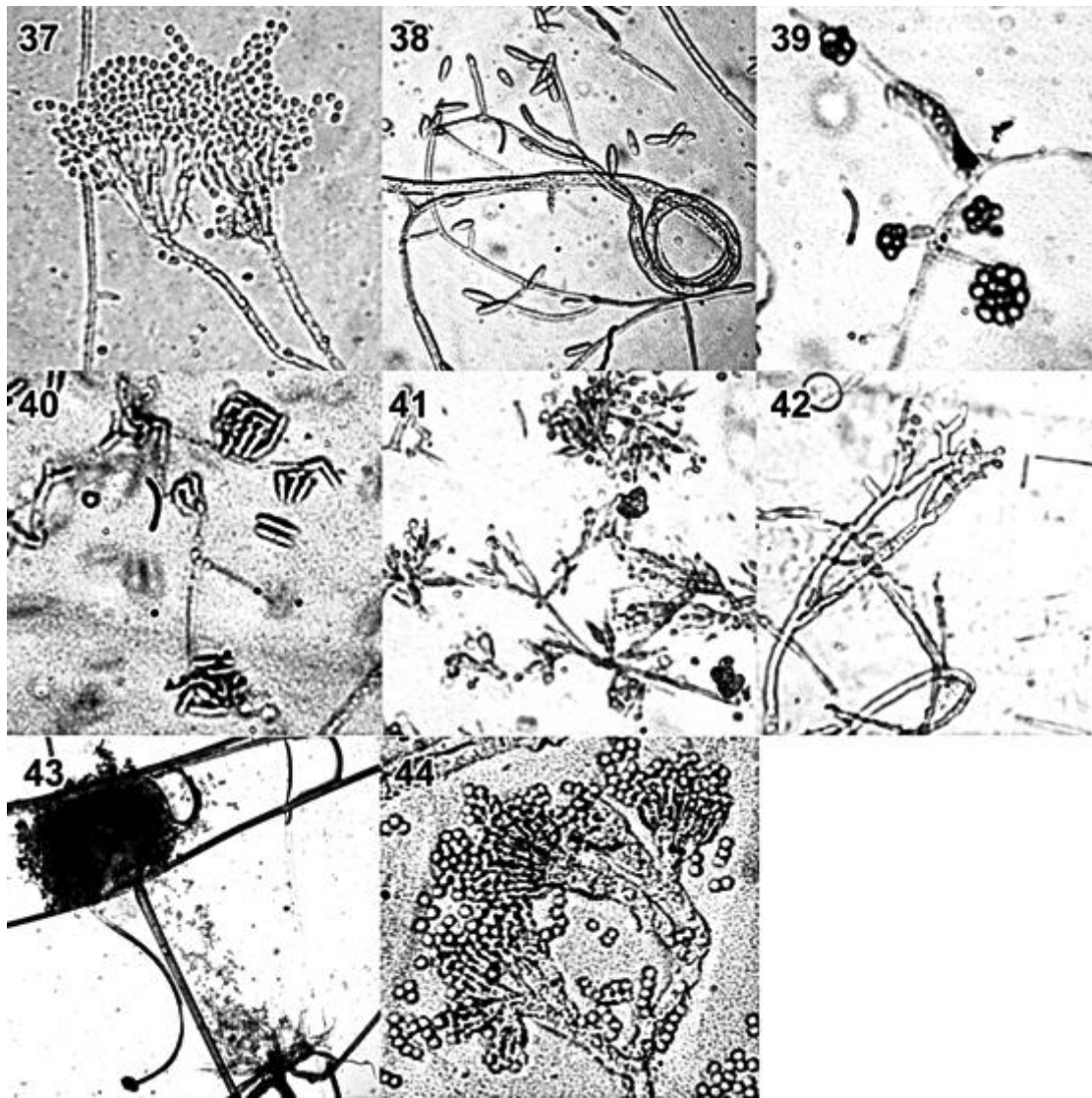


Figura 6 Observaciones microscópicas a 40X de las colonias de hongos filamentosos (*Continuación*)

Descripción de especies de hongos filamentosos. De un total de 40 muestras compuestas de suelos, en primera instancia, por los diferentes medios de cultivos empleados se logró aislar aparentemente 110 especies de un inicial de 135 en cultivos puros en medio PDA. Las hongos prosperan principalmente por el medio usado (Bills *et al.* 2004), al parecer cuando se trasladaron las colonias al medio PDA, este no suministró ciertos nutrientes para el desarro-

llo de hongos, por lo tanto 25 especies se perdieron definitivamente.

Las 110 especies de hongos filamentosos se desarrollaron en el medio PDA, pero al transcurrir el tiempo fueron retiradas 42 especies entre los tratamientos, a aquellos hongos con características iguales en el anverso y reverso de las colonias. La similitud podría ser debido a los medios de cultivos PDA, HLP, SA, HMA y AES, ya que estos propor-

cionaron diferentes cantidades y tipos nutrientes (Vieira & Nahas 2005).

68 especies de hongos sumaron entre los tres factores de estudio, del cual 24 fueron similares entre los tratamientos, quedando al final 44 hongos filamentosos en suelos del agroecosistema, cada uno diferente a los demás.

Las figuras 4 y 5 muestran imágenes macroscópicas del anverso y reverso de las colonias de hongos filamentosos en caja Petri tomadas al séptimo día. La tabla 3 muestra las descripciones de las carac-

terísticas macroscópicas (anverso y reverso) que presentaron las colonias de hongos filamentosos en medio de cultivo PDA. La figura 6 muestra las imágenes obtenidas a través del microscopio de sus características microscópicas de sus estructuras reproductivas de cada uno en microcultivos.

Identificación de hongos filamentosos. La tabla 4 muestra la lista de hongos filamentosos encontrados por el tipo de uso de suelo, tipo de cultivo y tipo de vegetación nativa.

Tabla 3 Descripción microscópica del anverso y reverso de los hongos filamentosos

Cepa	Características macroscópicas (anverso y reverso)
1	Colonia circular elevada de color gris pálido, de rápido crecimiento y textura algodonosa densa. Reverso color blanco crema con bordes filamentosos.
2	Colonia circular de color blanco, textura algodonosa aterciopelada, superficie elevada en el centro y disminuye hacia los bordes. Reverso color blanco crema intensa con borde filamentosos.
3	Colonia circular irregular con anillos de color verde blanquecino (centro), verde claro (interior) y borde irregular de color blanco crema, textura polvoriento. Reverso con anillos color blanco crema (interior), blanco amarillento (medio) y borde irregular nuboso.
4	Colonia circular aterciopelada de color blanco y textura granular. Reverso color blanco crema con filamentos en todo su interior.
5	Colonia circular de rápido crecimiento, textura densa aérea plumosa, pigmentación de color rojo intenso. Reverso rojo intenso.
6	Colonia irregular plana de color crema con formación de rizoides aéreos y borde filamentosos. Reverso centro color blanco crema con estrías.
7	Colonia circular de color crema con formación de anillos circulares y bordes filamentosos, de textura plana con estría circular en su centro. Reverso amarillo blanquecino con estría en el centro.
8	Colonia de forma ovalada con formación de anillos de color rosa a blanca en los bordes, textura lanosa y estría en el centro. Reverso con anillos café en el centro y blanco en su borde.
9	Colonia circular de color blanco y rojo crema en los bordes, textura lanosa elevada. Reverso amarillo intenso y con estrías en forma de estrella.
10	Colonia irregular algodonosa de color combinado de café claro y blanco. Reverso café intenso.
11	Colonia circular elevada en el centro de color rosa bajo a blanco hacia los bordes y textura lanosa. Reverso café claro en su centro y borde blanco.
12	Colonia circular de color blanco crema con borde filamentosos, textura algodonosa y elevada en su centro. Reverso blanco crema y estría circular en su centro.
13	Colonia circular de color blanco con borde irregular ondulado y textura algodonosa. Reverso amarillo blanquecino.
14	Colonia circular con anillos de color celeste, rojo y blanco, textura lanosa elevada, formación de exudados de color rojo púrpura. Reverso café oscuro con borde café claro y con estrías.
15	Colonia de forma circular aplanada de color verde amarillento, textura aterciopelada con formación de exudados de color café oscuro. Reverso amarillo pálido.
16	Colonia circular de color rosa crema y con bordes filamentosos color blanco crema, textura rizoide. Reverso blanco crema amarillento.
17	Colonia circular de color café oscuro y borde plomo, textura lanosa. Reverso con anillos café oscuro, café, café oscuro y café claro, con estrías en todo su interior.
18	Colonia circular irregular de color café plumoso (centro), anillos café claro y plomo claro y borde café oscuro, textura lanosa elevada. Reverso café negruzco.
19	Colonia de forma irregular de color plomo oscuro, textura lanosa elevada. Reverso café negruzco.
20	Colonia circular con anillos de color verde claro y verde limón, borde filamentosos y de textura algodonosa. Reverso blanco crema.
21	Colonia circular de color café blanquecino con borde irregular filamentosos, textura algodonosa. Reverso con anillos irregulares verde, café oscuro y café claro.

Tabla 3 Descripción microscópica del anverso y reverso de los hongos filamentosos (*Continuación*)

Cepa	Características macroscópicas (anverso y reverso)
22	Colonia circular verde blanquecina con borde blanco, textura lanosa elevada en su interior. Reverso blanco crema con anillos.
23	Colonia circular de color verde café con borde filamentosos y textura lanosa. Reverso verde negruzco y con estrías en su centro.
24	Colonia circular globosa irregular de color café claro, textura algodonosa. Reverso blanco crema.
25	Colonia circular de color verde y borde blanco, con formación de anillos elevados y textura polvorienta. Reverso blanco crema verdusco y con anillos.
26	Colonia circular irregular de color verde y borde blanco, textura polvorienta. Reverso amarillo intenso y bordes blancos.
27	Colonia de color verde y borde blanco, circular y textura polvorienta con formación de exudados de color verde claro. Reverso blanco cremoso y con estría en su centro.
28	Colonia circular irregular de color blanca plomiza y borde filamentosos color blanco, textura algodonosa. Reverso café blanquecino y borde blanco cremoso.
29	Colonia irregular de color blanco crema, textura algodonosa y con borde cremoso. Reverso con anillos irregulares blanco, plomo y plomo blanquecino con estría en su centro.
30	Colonia circular con anillos verde, verde oscuro, verde claro y borde blanco, textura polvorienta con exudados de color verde claro. Reverso amarillo intenso y degradándose a blanco hacia sus bordes, en su centro estría circular encerrando a otra en forma de estrella.
31	Colonia circular de color verde y borde blanco, textura polvorienta. Reverso café claro amarillento.
32	Colonia irregular de color rosa pálido y borde blanco, textura lanosa algodonosa. Reverso con anillos irregulares café oscuro, café blanquecino, café claro y blanco crema su borde.
33	Colonia circular blanco, textura lanosa con formación de exudados de color rojo oscuro. Reverso café y degradándose a café amarillento hacia su borde.
34	Colonia circular con anillos de color plomo oscuro, plomo, plomo blanquecino, café y borde filamentosos café claro, textura polvorienta. Reverso con anillos filamentosos negro degradándose a café y borde blanco.
35	Colonia irregular con anillos de color blanco, plomo, blanco, plomo con blanco y borde café crema, textura lanosa algodonosa. Reverso con anillos irregulares blanco, plomo y borde blanco crema y estrías en su centro.
36	Colonia irregular de color gris blanquecino, borde filamentosos y textura algodonosa. Reverso color negro en su centro con estrías y borde blanco.
37	Colonia oval con anillos de color verde limón, verde claro, verde y borde blanco, textura polvorienta algodonosa. Reverso amarillo degradándose a blanco hacia sus bordes.
38	Colonia circular de color blanco y cremoso con anillos, textura lanosa algodonosa. Reverso blanco amarillento crema.
39	Colonia circular combinado de verde y blanco, borde filamentosos y textura algodonosa. Reverso con anillos irregulares blanco naranja, naranja y borde blanco amarillento.
40	Colonia irregular con anillos, textura algodonosa lanosa. Reverso con anillos de color rojo vino.
41	Colonia circular de color blanco y textura lanosa. Reverso blanco amarillento y con estrías en su centro.
42	Colonia circular color amarillo cremoso con estrías que aparentan una estrella y borde filamentosos, textura cremosa filamentosos. Reverso blanco cremoso y con formación de estrías en su centro.
43	Colonia circular de rápido crecimiento de color café oscuro y blanco, textura algodonosa. Reverso café negruzco.
44	Colonia oval verde oscuro y borde blanco, textura polvorienta. Reverso con anillos de color blanco crema, amarillo naranja y borde blanco crema.

El total de hongos filamentosos obtenidos fue de 44 especies en cultivos puros, los cuales fueron comparados con descripciones originales de acuerdo a sus características morfológicas vistas al microscopio, para hongos en general: Barnett & Hunter 1998, Kirk *et al.* 2008, Watanabe 2010, Samson, *et al.* 2014, para géneros de *Aspergillus* y *Penicillium*. Aquellos hongos filamentosos no identificados fueron denominados como cepas no tipificadas.

Las siguientes divisiones identificadas por microscopía fueron: Zigomycota y Basidiomycota cada uno con dos especies y Ascomycota con 40 especies. 15 hongos filamentosos fueron debidamente identificados a nivel de género. Los 29 restantes no fue posible su identificación y se denominaron como cepas no tipificadas, sin embargo de acuerdo a sus características microscópicas fueron asignados a una probable división.

Tabla 4 Especies de hongos filamentosos aislados en relación con el lugar de muestreo

No. de especie	División	Hongo filamentosos	Lugar de muestreo
1	<i>Zigomycota</i>	<i>Absidia</i> sp.	TUS, TC y TVN.
43		<i>Rhizopus</i> sp.	TUS, TC y TVN.
6	<i>Basidiomycota</i>	Cepa 6	TC1.
16		Cepa 16	TC1.
3	<i>Ascomycota</i>	<i>Penicillium</i> sp.	TUS4.
5		<i>Fusarium</i> sp.	TVN2 y TUS2.
15		<i>Trichoderma</i> sp.	TC3, TVN1, TUS2 y TUS4
17		<i>Alternaria</i> sp.	TC2.
18		<i>Alternaria</i> sp.	TVN1.
19		<i>Alternaria</i> sp.	TVN2.
25		<i>Penicillium</i> sp.	TVN4.
26		<i>Penicillium</i> sp.	TC1 y TVN3.
27		<i>Penicillium</i> sp.	TVN4.
30		<i>Penicillium</i> sp.	TUS4 y TVN3.
31		<i>Penicillium</i> sp.	TC1 y TVN4.
37		<i>Penicillium</i> sp.	TVN3.
44		<i>Penicillium</i> sp.	TVN2.
4		Cepa 4*	TVN4 y TUS2.
10		Cepa 10*	TC3 y TVN2.
2		Cepa 2*	TC3, TUS2 y TUS4.
7		Cepa 7*	TC2, TC3 y TVN3.
8		Cepa 8*	TVN1.
9		Cepa 9*	TVN4.
11		Cepa 11*	TC2.
12		Cepa 12*	TVN3.
13		Cepa 13*	TC3, TVN4 y TUS2.
14		Cepa 14*	TC2 y TVN1.
20		Cepa 20*	TC1.
21		Cepa 21*	TVN3.
22		Cepa 22*	TVN1.
23		Cepa 23*	TUS4.
24		Cepa 24*	TC3, TVN1 y TVN3.
28		Cepa 28*	TVN1.
29		Cepa 29*	TC2 y TVN2.
32		Cepa 32*	TUS2.
33		Cepa 33*	TVN1.
34		Cepa 34*	TVN2.
35		Cepa 35*	TC1, TC2 y TVN3.
36		Cepa 36*	TC3 y TVN4.
38		Cepa 38*	TUS2 y TUS4.
39		Cepa 39*	TVN4.
40		Cepa 40*	TUS2 y TC3.
41		Cepa 41*	TVN2.
42		Cepa 42*	TVN2.

*Cepas de hongos no identificadas a nivel género pero si a nivel de división.

Relaciones entre el %MO, pH y textura con la abundancia de hongos. La interacción de las variables %MO y UFC's (Figura 7), tuvo un coeficiente de correlación de Pearson de -0.56, la cual indica que ambas variables tienen una relación lineal negativa, aunque esta no es estadísticamente significativa ($r^2 = 32.1\%$; $p > 0.05$) y siendo la ecuación de regresión $\text{UFC's} = 65344 - 1730 \% \text{ MO}$.

Figura 7 Relación entre el %MO y la abundancia de hongos filamentosos

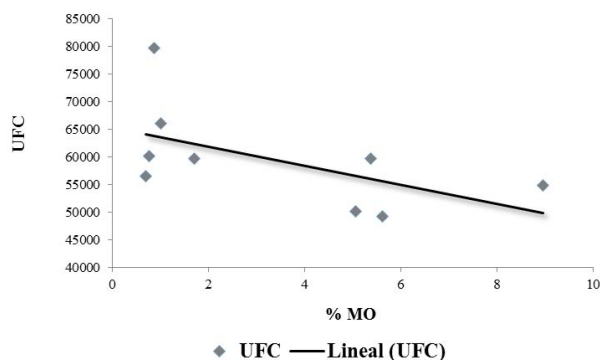
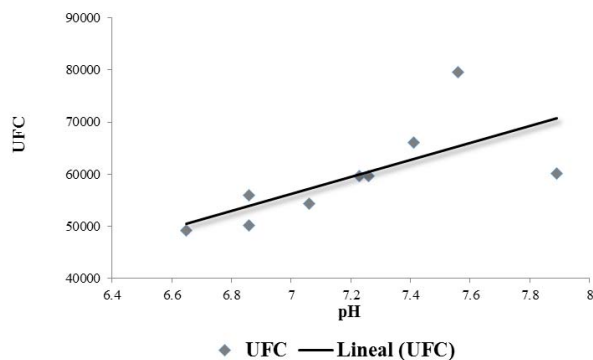


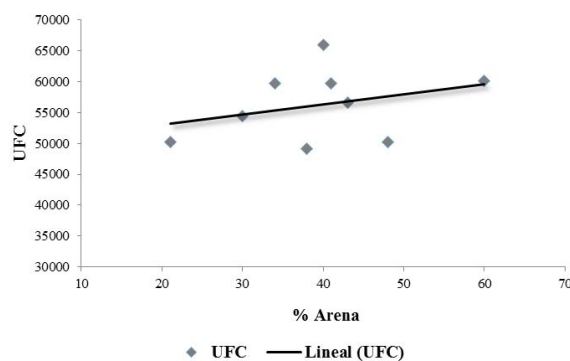
Figura 8 Relación entre el pH y la abundancia de hongos filamentosos



Mientras la interacción de variables pH y UFC's (Figura 8), demuestra que ambas variables tienen una relación positiva (coeficiente de correlación de Pearson 0.69). Esta relación indica que cuando el pH aumenta la UFC's tiende a aumentar ($\text{UFC's} = 58364 + 16366 \text{ pH}$) y estadísticamente presenta significativa ($r^2 = 47.7\%$; $p < 0.05$).

Finalmente las interacciones de las variables %Arena y UFC's (Figura 9) tuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.29, el cual indica que ambas variables no tienen relación ($\text{UFC's} = 50560 + 143\% \text{ Arena}$) y estadísticamente no es significativa ($r^2 = 8.6\%$; $p > 0.05$).

Figura 9 Relación entre el %Arena y la abundancia de hongos filamentosos



Discusión

El presente estudio, fue el primero en caracterizar la comunidad de hongos del suelo en un agroecosistema del altiplano central del Estado Plurinacional de Bolivia. Variables físicas, químicas y biológicas fueron medidas y relacionadas con UFC's y especies de hongos filamentosos del suelo.

Efectos del tipo de uso del suelo. El pH, %MO y la TS dentro del agroecosistema difieren numéricamente por el tipo de uso del suelo. Lauber *et al.* (2008) menciona que a menudo el tipo de uso de suelo, acorde con las prácticas de manejo (fertilización y abonamiento) tienen efectos apreciables en las concentraciones de nutrientes y su textura. La agricultura afecta la cantidad de %MO, pH y agregación del suelo (Coyne 2000, Dixon & Tilston 2010).

La MO es alta en suelos de ecosistemas naturales, pero son bajos en un agroecosistema debido a que las entradas de materia orgánica son menores y las prácticas frecuentes, promueven la oxidación de la MO (Meliani *et al.* 2012). Principalmente el tipo de uso del suelo, causa diferentes efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas (Swift & Bignell 2001). Los resultados evidencian estas diferencias en sus propiedades del suelo por el tipo de uso, vegetación nativa y prácticas de manejo de los cultivos agrícolas que incluyen fertilización química y control de plagas con pesticidas, la baja diversidad de especies podría deberse a estos factores.

Las UFC's fueron mayores en suelos con cultivos a comparación de los naturales donde se presentaron mayor diversidad. Este efecto podría atribuirse a la diversidad de plantas presentes en los suelos naturales, por las cantidades de materia orgánica y por los exudados de las plantas (azúcar, aminoácidos, proteínas, entre otros) que estimulan el crecimiento de los microorganismos (Broeckling *et al.* 2008). La agricultura y la diversidad de plantas afectan a la distribución y composición de hongos (Coyne 2000), la agricultura afecta drásticamente la diversidad de hongos por la perturbación constante del suelo y explicaría en este trabajo, la menor diversidad de hongos en suelos con cultivo. La producción agrícola altera su hábitat y por lo tanto daña a toda la comunidad microbiana, lo cual disminuye la diversidad y abundancia de estos hongos (Sivila & Hervé 1999, Altieri 1999, Carlile *et al.* 2001, Cabello & Arambarri 2002). En general las poblaciones microbianas son alteradas por la riqueza de especies de plantas, la diversidad de hongos aumenta con una alta diversidad de plantas (Zak *et al.* 2003).

Efecto del tipo de vegetación nativa. La vegetación nativa *Trifolium* sp., presentó mayor UFC's y número de especies, coincidiendo con Sivila de Cary &

Angulo (2006) que en parcelas con leguminosas nativas en el altiplano central del Estado Plurinacional de Bolivia encontraron mayor UFC's (6.4×10^4) en comparación con parcelas con gramíneas (5.6×10^4). Esta particularidad podría deberse a la presencia de las leguminosas, que proveen ciertos nutrientes que favorecieron la diversidad y UFC's de hongos. Los exudados de plantas regulan las comunidades de hongos, la planta reduce o aumenta la abundancia de específicos hongos por la acción de exudados antibióticos o por enviar señales químicas que inducen el crecimiento de hongos (Dighton *et al.* 2005). Los exudados de las plantas (metabolitos secundarios) son críticos en la especialización en asociaciones mutualistas o patogénicas entre las plantas e individuos de especies de microorganismos (Broeckling *et al.* 2008). Meliani *et al.* (2012) menciona que la abundancia está muy relacionada con el tipo de suelo, características climáticas, otros microorganismos y comunidades de plantas. Coyne (2000) indica que la composición vegetal afecta a la distribución de las especies de hongos.

Efecto del tipo de cultivo. La vegetación es uno de los factores importantes en la diversidad de especies (Garbeva *et al.* 2004). El mayor impacto de la agricultura sobre estos microorganismos está en sus actividades, que al reducir sus poblaciones, causa un efecto negativo en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (Altieri 1999). No obstante Winterhoff (1992) menciona que los cultivos manejados en rotación no tienen un mayor efecto en la diversidad y abundancia de hongos, sin embargo los monocultivos provoca el incremento de la abundancia de ciertas especies de hongos. Posiblemente algunos cultivos favorecieron a los ciertas especies de hongos como es el caso de suelos con cultivo de papa y cebada o disminuidos como el caso del cultivo de quinua por el tipo del manejo aplicados del

cultivo. Así mismo la abundancia de hongos está entre los 0 a 10 cm del suelo y baja con la profundidad, materia orgánica y alimentos disponibles (Paul 2007), si las tomas de muestra fueron a una profundidad media de 10 cm, esta podría explicar altas UFC's.

Hongos del suelo. Descripción de hongos filamentosos, el número de aislamientos de hongos desde los suelos difieren por la técnica empleada. Warcup 1950, Bills *et al.* 2004, señalan que las técnicas benefician o desfavorecen a ciertas especies de hongos, por ejemplo, la dilución favorece el crecimiento de hongos que forman esporas, mientras placas de suelo e inoculación directa favorecen el desarrollo a través del micelio del hongo.

El aislamiento a cultivos puros de las colonias de hongos fue dificultoso por la técnica de placas de suelo, ya que muchas colonias estaban encajadas en el medio de cultivo, a consecuencia no se aislaron todas las colonias de hongos. En este trabajo 44 especies de hongos filamentosos fueron aislados desde los suelos del agroecosistema de K'iphak'iphani, géneros de *Penicillium* predominaron en los aislamientos y podría deberse a que estos hongos predominan en climas templados, no obstante los hongos son regulados por la cantidad y calidad del sustrato (Paul 2007). Este estudio fue uno de los primeros en evaluar la diversidad de forma exploratoria, suponíamos encontrar baja diversidad por el clima (frio) (Coyne 2000) y por un número escaso de medios y métodos empleados en el aislamiento (Watanabe 2010), sin embargo 44 especies podría indicar una alta diversidad de hongos en esta región, siendo necesario otros estudios para evaluar la biodiversidad de hongos del suelo.

Identificación de hongos filamentosos. La dificultad de la identificación taxonómica de hongos es alta, por lo cual muchas especies de hongos no se identi-

ficaron. Muchos factores afectan en el crecimiento y esporulación del hongo en laboratorio (Kirk *et al.* 2008). Barnett & Hunter (1998) señalan que muchos hongos imperfectos requieren ciertas condiciones como: luz, humedad, temperatura, pH, nutrientes y vitaminas para sobrevivir, crecer y reproducirse.

La gran diversidad de hongos filamentosos encontrados fue de la división Ascomycota, siendo *Penicillium* los más frecuentes, por otro lado se encontró mayor número de especies de hongos en suelos naturales y con vegetación nativa, sin embargo algunas especies solo se presentan en un determinado lugar.

El tipo de uso del suelo afecta la distribución de especies de hongos filamentosos. Rojas-Gutiérrez (2014) reporto hongos *Beauveria brongniartii* y *Metarhizium anisopliae* por el sector de Viacha, aislados desde insectos, sin embargo estos géneros no fueron aislados en esta investigación. Se halló *Trichoderma*, que es un micoparásito de otros hongos y se emplea como controlador de *Rhizoctonia solani*, un hongo fitopatógeno (Paul 2007).

Acorde con este trabajo, se obtuvieron más aislamientos del genero *Penicillium* y coincidiendo con Paul (2007), el cual indica que este género es abundante en temperaturas y climas fríos, característico de la zona altiplánica de Bolivia. Por otra parte la cantidad de materia orgánica y alimentos disponibles en los suelos también podrían influir en su distribución.

Relaciones

Relaciones entre el %MO, pH y textura con la abundancia de hongos. De acuerdo con Meliani *et al.* (2012) en otro tipo de ecosistema tropical, encontró que la relación entre la abundancia de hongos y la materia orgánica es poca significativa ($r = -0.27$), esto es por el hecho de que cualquier porción de materia orgánica añadida fue asimilada por los

microorganismos rápidamente especialmente por agentes patógenos. Sin embargo a pesar de la mayor cantidad de MO en suelos naturales del agroecosistema, hay una relación débil entre el contenido de MO y UFC's. Del mismo modo la abundancia está muy relacionada con otros factores como; el tipo de suelo, características climáticas, otros microorganismos y comunidades de plantas (Meliani *et al.* 2012).

La abundancia de hongos no indica una relación constante con el pH del suelo, más al contrario son débiles (Rousk *et al.* 2010). Lauber *et al.* (2008) correlaciono algunas propiedades del suelo con comunidades microbianas, encontró una correlación débil (0.15) entre el pH y abundancia de hongos. Los hongos toleran un amplio rango de pH (5 a 9) sin impedir su desarrollo (Rousk *et al.* 2010), sin embargo algunos hongos muestran preferencia por ciertos valores de pH, (Winterhoff 1992). El pH afecta la solubilidad de nutrientes, Lauber *et al.* (2008), indica que la abundancia está más relacionada por el P (0.54). Sin embargo esta investigación, muestra resultados contradictorios, aunque el rango de pH no presenta extremos, es neutro a ligeramente alcalino y muchos nutrientes están disponibles en ese rango (Lavelle & Spain 2001). Por lo tanto podrían existir otros factores que regulan la abundancia de hongos.

Entre las relaciones de textura del suelo, Meliani *et al.* (2012) encontró relaciones no significativas ($p > 0.05$) entre la abundancia de hongos y actinomicetos con la textura del suelo, también menciona que la textura del suelo influye significativamente en la biomasa del suelo, pero solo es importante de acuerdo al régimen climático.

En este trabajo se encontró una relación débil entre la abundancia de hongos y la textura del suelo. El uso del suelo afecta a las propiedades del suelo y

consecuentemente a la diversidad microbiana, los microorganismos no solo son afectados por factores ambientales sino también por factores abióticos (Dixon & Tilston 2010).

Finalmente, las propiedades físicas (textura), químicas (pH, CE y % MO) y diversidad de plantas fueron afectadas por el tipo de uso de suelo, tipo de vegetación nativa y tipo de cultivo.

La abundancia y la diversidad hongos filamentosos en los suelos del agroecosistema de K'iphak'iphani están influenciados por el tipo de uso del suelo, tipo de vegetación nativa y tipo de cultivo. Destacar que en los suelos naturales y de vegetación nativa se encuentran mayor diversidad de hongos, sin embargo no presentaron abundancia, contrariamente ocurre en los suelos con cultivos donde existe abundancia pero no diversidad.

La diversidad de hongos filamentosos aislados en cultivos puros y en medio PDA fue 44 especies, estos son registrados por primera vez desde los suelos de un agroecosistema del altiplano del estado Plurinacional de Bolivia.

Las 44 especies de hongos filamentosos, el género *Penicillium* fueron los más abundantes (8 especies), seguido de *Alternaria* (3 especies) *Rhizopus* y *Mucor* (1 especie), *Fusarium* (1 especie) y *Trichoderma* (1 especie), los 29 restantes no fueron identificados por dificultades técnicas, métodos de genética molecular podrían identificar la diversidad de hongos del suelo.

Las relaciones entre %MO vs UFC's fue negativa ($r^2 = 32.1$). Por otro lado si hubo una relación fuerte ($r^2 = 47.7$) entre pH y UFC's. Mientras para porcentaje de Arena y UFC's presentaron relaciones débiles ($r^2 = 8.6$).

Conflictos de intereses

Los autores han cumplido las normas éticas de publicación, y no generan conflictos de interés en la presente investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación PROINPA regional altiplano, al Centro Experimental K'iphak'iphani y al personal técnico por la colaboración en los laboratorios de investigación en microbiología de suelos.

Literatura citada

- Altieri MA. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ.* 1999; 74: 19-31.
- Arias-Mota RS, Heredia-Abarca G, Mena-Portales J, Sivila R. Primeros registros de hongos anamorfos (*Hyphomycetes*) colectados en restos vegetales del parque nacional Cotapata, La Paz, Bolivia. *Bol Soc Micol Madrid.* 2007; 31: 157-169.
- Barnett HL, Hunter BB. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. APS Press, Minnesota, USA, 1998. p. 218.
- Bills GF, Christensen M, Powell M, Thorn G. Saprobic soil fungi. p. 271-302, In G.M. Mueller, G.F. Bills, and M.S. Foster (Eds.). *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods.* Elsevier Academic Press, San Diego, CA. 2004. p. 777.
- Broeckling CD, Broz AK, Bergelson J, Manter DK, Vivanco JM. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Appl Environ Microbiol.* 2008; 74(3): 738-744.
- Cabello M, Arambarri A. Diversity in soil fungi from undisturbed and disturbed *Celtis tala* and *Scutia buxifolia* forests in the eastern Buenos Aires province (Argentina). *Microbiol Res.* 2002; 157(2): 115-125.
- Carlile MJ, Watkinson SC, Gooday GW. *The Fungi.* 2nd ed. London: AP. 2001. p. 588.
- Christensen M. Soil microfungi of dry to mesic conifer-hardwood forests in northern Wisconsin. *Ecology.* 1969; 22:9-27.
- Coyne M. *Microbiología del Suelo: Un Enfoque Exploratorio.* Ed. Paraninfo. España. 2000. p. 416.
- DeFries RS, Foley JA, Asner GP. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Front Ecol Environ.* 2004; 2(5): 249-257.
- Diaz R, Gamazo C, López-Goñi I. *Manual práctico de microbiología.* 2ª ed. Barcelona, España. Masson SA. 1999. p. 208.
- Dighton J, White JF, Peter O. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem.* 3rd ed. CRC Press, Boca Ratón. 2005.
- Dixon GR, Tilston EL. *Soil microbiology and sustainable crop production.* Ed. Springer Science and Media BV. Dordrecht, The Netherlands. 2010. p. 451.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T. *Compendium of soil fungi, vol. I.* Academic, London. 1980. p. 859.
- Flanagan PW. Fungal taxa, physiological groups and biomass: a comparison between ecosystems. In *The fungal community*, D. T. Wicklow, and G. C. Carroll (eds.). Marcell Dekker, Nueva York. 1981. p. 569-592.
- Garbeva P, Van Venn JA, Van Elsas JD. Microbial diversity in soil: selection microbial popula-

- tions by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu Rev Phytopathol.* 2004; 42 (29): 243-270.
- Gobierno Autónomo municipal de Viacha. Plan de desarrollo municipal Viacha 2012-2016. 2012. p. 476.
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10a. ed. CABI. Wallingford, UK. 2008. p. 771.
- Lauber CL, Strickland MS, Bradford MA, Fierer N. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biol Biochem.* 2008; 40(9): 2407-2415.
- Lavelle P, Spain AV. Soil ecology. Dordrecht, NL. Kluwer Academic Publishers. 2001. p. 654.
- Meliani A, Bensoltane A, Mederbel K. Microbial diversity and abundance in soil: related to plant and soil type. *Am J Plant Nutr Fert Technol.* 2012; 2: 10-18.
- Moreira FMS, Siquiera JO. Os organismos do solo. In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2nd ed. Lavras. 2006; 17-82. UFLA.
- Paul EA. Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. 3rd ed. Burlington, US. AP. 2007. p. 514.
- Rojas-Gutiérrez RL. Capacidad biocontroladora de (*Beauveria brongniartii* Sacc.) y (*Metarhizium anisopliae* Metsch.) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). [Tesis de Licenciatura]. Universidad Católica Boliviana San Pablo. La Paz. Bolivia. 2014. p. 62.
- Rousk J, Bååth E, Brookes PC, Lauber CL, Lozupone C, Caporaso JG, et al. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME J.* 2010; 4(10):1340-1351.
- Samson RA, Visagie CM, Houbraken J, Hong S-B, Hubka V, Klaassen CHW, et al. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Stud Mycol.* 2014 78: 141-173.
- Sivila de Cary R, Angulo W. Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patara-ni-Altiplano central boliviano). *Ecología en Bolivia.* 2006; 41(3): 103-115.
- Sivila R, Hervé D. Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano central. Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. La Paz, Bolivia. Julio 1999. p. 5-14.
- Swift MJ, Bignell D. Standard methods for the assessment of soil biodiversity and land-use practice. ASB-Lecture Note 6B. International Centre for Research in Agroforestry, South East Asian Regional Research Programme, Bogor, Indonesia. 2001.
- Vieira FC, Nahas E. Comparison of microbial numbers in soils by using various culture media and temperatures. *Microbiol Res.* 2005; 160(2): 197-202.
- Warcup JH. The soil-plate method for isolation of fungi from soil. *Nature.* 1950; 166: 117-118.
- Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. Boca Raton: CRC Press. 2010. p. 397.
- Webster W, Weber RWS. Introduction to Fungi. 3rd ed. Cambridge, UK. Cambridge University Press. 2007. p. 841.
- Winterhoff W. Fungi in vegetation science. Springer Science Business Media Dordrecht. 1992.
- Zak DR, Holmes WE, White DC, Peacock AD, Tilman D. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology.* 2003; 84(8): 2042-2050.