

## Conference Paper

# Caracterización Molecular de la Diversidad Fúngica de los Bosques Llucud y Palictahua: Potencialidades en Control Biológico

## Molecular Characterization of Diversity Fungic of the Llucud and Palictahua Forests: Potential in Biological Control

N. S. Erazo Sandoval<sup>1</sup>, J. C. Manzano Ocaña<sup>2</sup>, and B. D. Patiño Castillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional San Marcos (UNMSM) Lima-Perú: Profesora a Tiempo Completo de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo, Técnico de Investigación del Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>3</sup>Ingeniera Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Corresponding Author:

N. S. Erazo Sandoval  
coprinus2@yahoo.com

Received: 10 January 2020

Accepted: 17 January 2020

Published: 26 January 2020

Publishing services provided by  
Knowledge E

© N. S. Erazo Sandoval et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the VI Congreso Internacional Sectei 2019 Conference Committee.

### Resumen

Dentro de los microorganismos más abundantes que se pueden encontrar en formaciones ecosistémicas naturales como los bosques andinos del Ecuador se encuentran los hongos microscópicos, los cuales desempeñan funciones cruciales en dichos ecosistemas. Por lo cual el objetivo de esta investigación fue caracterizar molecularmente la diversidad de hongos presentes en los bosques nativos Llucud y Palictahua, estableciendo sus potencialidades de uso en el control biológico de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos agrícolas y cuyo control en su mayoría se lo realiza con plaguicidas químicos. Mediante secuenciación de próxima generación (NGS por sus siglas en inglés) de las muestras compuestas de suelo tomadas del horizonte "A" (rizósfera) de cada bosque, se identificaron 56 especies de hongos en Palictahua y 38 en Llucud, presentándose en ambos bosques un total de 6 hongos con importantes potencialidades para su uso en el control biológico, dentro de las cuales se encontraron: *Brachyphoris oviparasitica* (nematófago), *Simplicillium* (entomopatógeno y micoparásito), *Hamamotoa lignophila* (levadura con actividad Killer) en Llucud, y *Metarhizium robertsii* (entomopatógeno), *Brachyphoris oviparasitica* (nematófago) y *Paraphaeosphaeria parmeliae* (micoparásito) en Palictahua. El Bosque Palictahua presentó mayor diversidad de hongos que el bosque Llucud, sin embargo es importante cuidar ambos bosques, pues poseen una gran riqueza microbiana con un sinnúmero de posibilidades de uso en la medicina, industria, biotecnología y otros campos.

**Abstract:** Among the most abundant microorganisms that can be found in natural ecosystem formations such as the Andean forests of Ecuador are microscopic fungi, which play crucial roles in these ecosystems. So that the objective of this research was to molecularly characterize the diversity of fungi present in the native forests Llucud and Palictahua, establishing their potential for use in the biological control of pests and diseases that affect agricultural crops and whose control is mostly carried out

 OPEN ACCESS

with chemical pesticides. Through next-generation sequencing (NGS for its acronym in English) of compound samples of soil took from "A" horizon (rhizosphere). 56 species of fungi were identified in Palictahua and 38 in Llucud, presenting in both forests a total of 6 fungi with significant potential for use in biological control, among which were found: *Brachyphoris oviparasitica* (nematophagous), *Simplicillium* sp. (entomopathogen and mycoparasite), *Hamamotoa lignophila* (yeast with Killer activity) in Llucud, and *Metarhizium robertsii* (entomopathogen), *Brachyphoris oviparasitica* (nematophagous) and *Paraphaeosphaeria parmeliae* (mycoparasite) in Palictahua. The Palictahua forest presented greater diversity of fungi than the Llucud forest, however it is important to take care of both forests, since they have a great microbial richness with a myriad of possibilities of use in medicine, industry, biotechnology and other fields.

**Palabras clave:** Biodiversidad, Microbiota, Plaguicidas.

**Keywords:** Biodiversity, Microbiota, Pesticides.

---

## 1. Introducción

El control de las plagas y enfermedades que causan pérdidas en la producción de los cultivos agrícolas, depende en gran medida de la aplicación de plaguicidas químicos. El uso indiscriminado de estos productos ocasiona graves problemas de contaminación ambiental, afectaciones en la salud humana e incremento en la resistencia de estos organismos patogénicos (23). La falta de opciones biológicas de control al alcance de los agricultores, deriva en una nociva dependencia hacia estas moléculas importadas, acrecentando aún más la problemática de la agricultura en el país.

La utilización de microorganismos nativos en el control biológico de plagas y de enfermedades es una alternativa muy atractiva. Afortunadamente y enmarcándose hacia una producción sustentable se cuentan con grandes reservorios de diversidad microbiana en nuestro país. Dentro de los bosques nativos andinos, los bosques Llucud y Palictahua son considerados ecosistemas montanos únicos en la región sierra, que se distinguen por su extraordinaria diversidad biológica, equiparable a la selva tropical lluviosa, caracterizados por su gran diversidad florística arbórea, con índices de Simpson de 0,85 y 0,91 respectivamente (8).

Los hongos microscópicos se encuentran dentro de los microorganismos más diversos del mundo, estimándose que existen entre 0.71 a 1.5 millones de especies (20, 54), por lo que constituyen una proporción significativa de la biota aún por descubrir

en ecosistemas naturales, pues su presencia es crucial para el mantenimiento de los procesos ecológicos y el bienestar humano.

Los hongos comparten estrategias tróficas similares, ya sea mediante saprofitismo, parasitismo o simbiosis y pueden ocurrir en el mismo ecosistema. Además, desempeñan importantes funciones dentro de diversos procesos, tales como el ciclo de nutrientes al transformarlos en accesibles para las plantas; la descomposición de la madera, la regulación de poblaciones de insectos u otras plagas e inclusive pueden llegar a influir en la estructura del suelo (21).

Al estimarse que, alrededor del 99% de microorganismos que habitan un suelo no son cultivables, el uso de herramientas moleculares como la secuenciación de próxima generación (NGS), adquiere gran relevancia para tener mayor accesibilidad a los recursos genéticos contenidos en un suelo (6).

Considerando que una alta diversidad de microorganismos se encuentra estrechamente relacionada con la vegetación, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la diversidad fúngica de los bosques nativos Andinos Lluclud y Palictahua de la provincia de Chimborazo, mediante el análisis de la región ITS, para el posterior establecimiento de sus potencialidades en el control biológico, pues a la fecha no se disponen de estudios similares.

## 2. Metodología

En cada bosque se trabajó dentro de un área experimental de 1 ha, para la recolección de muestras compuestas de suelo de aproximadamente 1 kilogramo, que fueron tomadas del horizonte A (rizósfera). La caracterización molecular se realizó mediante secuenciación de próxima generación (NGS).

A partir de una muestra de 200 mg de suelo de cada bosque se procedió con la extracción de ADN utilizando el Kit de aislamiento SurePre Soil DNA (Fisher Bioreagents, Fair Lawn, NJ). El ADN total se envió a macrogen, que se encargó de la construcción de librerías con Herculase II Fusion DNA Plymerase, siguiendo el protocolo de Preparación de la biblioteca de secuenciación metagenómica 16S y la secuenciación masiva en la plataforma MiSeq de Illumina para la generación de lecturas pareadas de 301 pares de bases. Las secuencias obtenidas fueron analizadas por la empresa IDgen donde se limpiaron los amplicones con Trimmomatic (3).

Las secuencias pareadas se empalmaron con BBmerge (4) y se agruparon con Vsearch (52) y Swarm (33), eliminándose las secuencias quiméricas con Uchime (15). Empleando las bases de datos RefSeq 16S para bacterias (47) y UNITE ITS (1) para

hongos con la herramienta BLAST+ (7) se buscaron secuencias con similitud superior al 97%. Finalmente, se generaron las tablas de unidades taxonómicas operacionales (OTUs por sus siglas en inglés) y los gráficos de los perfiles taxonómicos utilizando Krona (45), cuyos resultados se presentaron en extensión de archivo HTML, a los cuales se puede acceder mediante el siguiente link: <https://drive.google.com/drive/folders/1jJ6C20T43ZHtQRqSM-JdfIptrVOtfuMj>

### 3. Resultados y Discusión

Se identificaron 56 especies de hongos en el bosque Palictahua y 38 especies de hongos en el bosque Llucud.

#### 3.1. Diversidad Microbiana Fúngica del bosque Llucud

Dentro de los hongos que poseen grandes potencialidades para su uso en el control biológico, se encuentran especies con características entomopatógenas, nematófagas, micoparásitos y levaduras Killer, además también existe una gran variedad de promotores de crecimiento de las plantas (PGP por sus siglas en inglés), hongos micorrízicos, y hongos con variedad de aplicaciones biotecnológicas, industriales, ecológicas e incluso médicas. También se han encontrado especies patógenas vegetales y humanas y otras especies sin uso definido.

##### 3.1.1. Potenciales controladores Biológicas

*Brachyphoris oviparasitica*: Hongo nematófago que habita huevos de *Meloidogyne* y *Globodera rostochiensis* (12). *Hamamotoa lignophila*: Levadura Killer (5). *Simplicillium*: Algunas especies producen compuestos volátiles antimicrobianos, micoparásitos (*S. coffeanum*), otros son entomopatógenos como *S. lanosoniveum* (19, 30).

##### 3.1.2. Hongos micorrízicos y Promotores de crecimiento de las plantas (PGP)

*Claroideoglossum luteum*: Hongo micorrízico arbuscular asociado a la rizósfera del pimiento en un estudio realizado en México (9). *Glomus macrocarpum*: Crece de forma semihipogea, a menudo asociada a restos vegetales y asociado a diversas plantas (2). *Pezoloma ericae*: Prominente hongo micorrízico ericoide (36). *Serendipita herbamans*:

Hongo endófito muy común (PGP) y ampliamente distribuido en asociación con un amplio espectro de familias de plantas herbáceas en diversos hábitats, independientemente del tipo de uso de la tierra (51).

### 3.1.3. Hongos con potenciales usos industriales, biotecnológicos, ecológicos y médicos

*Aspergillus subnutans*: Nueva especie de este género aislado en suelos de Estados Unidos, produce el extrolito Cf. 4-hydroxymellein, se asemeja *A. nutans* filogenéticamente y morfológicamente, pero difiere en las vesículas verticales y no coloreadas (10). *Geomyces auratus*: Produce Georatusin (poliquétido metilado altamente reducido fusionado a un triptófano por un enlace de amida y éster que forma un anillo de 13 miembros), que muestra actividades antiparasitarias específicas contra *Leishmania donovani* y *Plasmodium falciparum* (Protozoos causantes de la malaria) sin citotoxicidad (55).

*Hypomyces samuelsii*: Produce pigmentos rojos (48). *Mortierella* spp.: La mayoría de las especies son saprófitos que habitan el suelo, tienen la capacidad de diversas biotransformaciones o la acumulación de ácidos grasos insaturados, lo que los hace atractivos para aplicaciones biotecnológicas (62). Además son candidatos prometedores para su uso como productores de ácido araquidónico y otros ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Los PUFA, particularmente el ácido linoleico (18: 2, n-6), el ácido  $\alpha$ -linolénico (18: 3, n-3) y el ácido araquidónico (20: 4, n-6), son ácidos grasos esenciales vitales para varias funciones biológicas de los mamíferos (64).

*Mortierella globulifera*: Produce enzimas proteolíticas (59). *Solicoccozyma terricola*: Hongo con capacidad de acumular lípidos, biosíntesis de lípidos microbianos para la obtención de productos oleoquímicos (biocombustibles y algunos componentes básicos para la química (17).

### 3.1.4. Hongos Patógenos Vegetales y Humanos

*[Chrysosporium] filiforme*: (Sinónimo obsoleto: *Glenospora*), pertenece al grupo de hongos mitosporicos (Deuteromicetos, hongos imperfectos o anamorfos) porque carecen de fase sexual (puede que nunca la tuvieron, que la hayan perdido o que no se haya encontrado aún), y se reproducen exclusivamente por medio de conidios (42). Muchas especies de este género son saprófitos del suelo con amplia distribución, aislados del suelo, material vegetal, estiércol y aves. Estos organismos pueden entrar en los

huéspedes a través de conidios transportados por el aire y la exposición al suelo. Muchas especies de *Chrysosporium* spp., son hongos filamentosos queratinofílicos implicados en la descomposición de sustratos queratinosos y pueden causar infecciones cutáneas y onicomicosis en humanos, asociados ocasionalmente con micosis humanas diseminadas, que afectan el cerebro, los pulmones, los senos paranasales, el hígado y los riñones y que conducen a la sinusitis, la neumonía, la pleuritis, la pericarditis y la osteomielitis (31).

*Coleophoma proteae*: Patógeno asociado con la enfermedad del tizón foliar grave en *Protea caffra* (13). *Deniquelata barringtoniae*: Patogénico en hojas vivas de *Barringtonia asiatica* (24). *Fonsecaea pedrosoi*: Uno de los principales agentes causales de cromoblastomicosis (micosis que afecta la piel y el tejido subcutáneo) en países tropicales (56). *Neocoleroa metrosideri*: Patógeno causante de manchas foliares (25).

### 3.1.5. Hongos sin uso definido

*Chirleja buckii*: Hongo liquenizado, con una morfología y un modo de reproducción inusuales (29). *Tricharina praecox* var. *praecox*: Es una especie que suele crecer en zonas quemadas, aunque también pueden crecer sobre suelo desnudo sin restos de hogueras (57). Entre las especies que aún no tienen uso definido se encuentran: *Clavaria californica*, *Clitocybe cokeri*, *Conioscypha minutispora*, *Entoloma kruticianum*, *Fusicladium eucalypticola*, *Geomyces auratus*, *Jimgerdemannia lactiflua*, *Penicillium tularense*, *Pseudogymnoascus verrucosus*, *Ramariopsis flavescens* y *Thelonectria trachosa*.

## 3.2. Diversidad Microbiana Fúngica del bosque Palictahua

Dentro de los hongos que poseen grandes potencialidades para su uso en el control biológico, también están presentes hongos entomopatógenos, nematófagos y micoparásitos, además también existe una gran variedad de promotores de crecimiento (PGP), hongos micorrízicos y hongos con variedad de aplicaciones biotecnológicas, industriales, ecológicas y alimenticias. Por otro lado también se han encontrado especies patógenas vegetales, humanas, parásitas de medios acuáticos y otras especies sin uso definido.

### 3.2.1. Potenciales controladores Biológicas

*Metarhizium robertsii*: Hongo entomopatógeno, también coloniza endofíticamente las raíces de las plantas (potencial simbiote), no se distribuye aleatoriamente en los suelos, sino que se asocia preferentemente con la rizósfera de la planta cuando se aplica en entornos agrícolas (53). *Paraphaeosphaeria parmeliae*: Micoparásito cosmopolita, que se presenta en una amplia gama de royas, con potencial como agente de control biológico (58).

### 3.2.2. Hongos micorrízicos y Promotores del crecimiento de las plantas (PGP)

*Acaulospora cavernata*: Hongo micorrízico arbuscular aislado y cultivado a partir de rizósferas de varias plantas en Corea (28). *Ambispora fennica*: Hongo micorrízico arbuscular aislado de la rizósfera de *Adiantum capillus-veneris*, *Baccharis conferta*, *Quercus candicans*, *Q. crassifolia*, *Salvia lavanduloides* y *Selaginella lepidophylla* que crecen en los bosques templados de México (60)

*Diversispora spurca*: Hongo micorrízico arbuscular que causó el aumento de la actividad de catalasa de raíz (CAT) en plántulas no estresadas y aumento de la concentración de proteína soluble en la raíz y actividad de la CAT en las plántulas anegadas de cítricos (*Citrus junos*), induciendo así un menor daño oxidativo (63).

*Pezizula heterochroma*: Saprófita o como endófito frecuentemente aislado de ramas vivas y raíces que no muestran síntomas de enfermedad (11). *Rhizophagus proliferus*: Hongo micorrízico arbuscular (35). *Rhizopogon subbadius*: Hongo simbiote ectomicorrízico de pináceas nativas e introducidas en todo el mundo (38).

*Trichoderma*: Agente de control biológico de hongos (muy agresivo contra hongos fitopatógenos) y nematodos, además posee acción como inductor de resistencia en las plantas y estimulador de crecimiento (PGP) (34).

### 3.2.3. Hongos con potenciales usos industriales, biotecnológicos, ecológicos y alimenticios

*Amanita vernicoccora*: Hongo comestible (43). *Caloplaca cancarixitcola*: Especie encontrada en una cancarixita (una roca ultrapotásica), en una región volcánica de Albacete-España (44). *Mortierella amoeboides* y *M. sarnyensis*: Aplicaciones biotecnológicas.

*Saitozyma*: Aplicaciones ecológicas, *S. podzolica* se correlaciona positivamente con la presencia de aluminio en los suelos (39). *Tuber turmericum*: Una especie de trufa china (16).

### 3.2.4. Hongos Patógenos Vegetales y Humanos

*Arthrographis kalrae*: Es un saprófito del medio ambiente, que se encuentra principalmente en el suelo y el compost. En los últimos años, se han descrito casos de infecciones oportunistas (onicomicosis, fungemia) atribuidas a este patógeno humano (14). *Claviceps tenuispora*: Patógeno.

*Curvularia americana*: En este género se incluye numerosos patógenos de plantas y algunos patógenos oportunistas emergentes de los seres humanos (32). *Exophiala pisciphila*: Un hongo dematiáceo marino (color oscuro) perteneciente a la familia de las levaduras negras. Fue descrito por Carmichael en 1966, desde entonces, se ha implicado como causa de micosis sistémica en varias especies de peces (26).

*Exophiala salmonis*: Causa una micosis sistémica interna de salmónidos criados en el mar de baja prevalencia (27). *Gromochytrium mamkaevae*: Es un parásito del alga *Tribonema gayanum* (18). *Histoplasma capsulatum*: Hongo dimórfico causante de la Histoplasmosis, micosis sistémica y endémica en una amplia zona de las Américas (41).

*Malassezia nana*: Se aisló de un gato y vacas con o sin otitis externa (miembro de la flora microbiológica de los animales), como las otras especies de *Malassezia*. Se requieren más estudios para investigar si *M. nana* juega un papel patogénico en la otitis externa u otras enfermedades de humanos y animales (22).

*Malassezia restricta*: pueden estar involucradas en trastornos de la piel, como pitiriasis versicolor, dermatitis seborreica, eccema atópico y foliculitis, y se producen a mayor densidad de población en cueros cabelludos con caspa que en cueros cabelludos sin caspa (61).

*Plectosphaerella populi*: Patógeno de plantas hortícolas (50). *Pleurostoma richardsiae*: Patógeno causante de la enfermedad del tronco del vid (46). *Rousoella solani*: Patógeno humano, causante de queratomicosis (37).

### 3.2.5. Hongos sin uso definido

*Neurospora tetraspora* (= *Gelasinospora tetrasperma*) se encontró en el estiércol de la perdiz blanca, caballo, conejo y, vaca, además fue uno de los ascomicetes aislados más frecuentes de la madera podrida en los bosques de Albert Noroeste (Canadá) (40).



*Reniforma strues*: Hongo aislado de la película biológica de una planta primaria de tratamiento de aguas residuales (49).

Entre las especies que no aún no tienen uso definido se encuentran: *Apiotrichum porosum*, *Apodus deciduus*, *Auricularia nigricans*, *Blastophorum aquaticum*, *Byssocorticium caeruleum*, *Chlorociboria macrospora*, *Coralloidiomyces digitatus*, *Dictyosporium alatum*, *Entoloma mastoideum*, *Microcera rubra*, *Phialocephala virens*, *Prosthemium intermedium*, *Pyrenochaetopsis leptospora*, *Tomentella agbassaensis* y *Tomentella beaveriae*.

## 4. Conclusiones

Este trabajo se constituye como punto de partida en la caracterización de la diversidad de hongos en los bosques Andinos Llucud y Palictahua de la provincia de Chimborazo, pues no existe información previa de ésta índole para realizar comparaciones. Por ende, la caracterización molecular de la diversidad fúngica de los bosques nativos Andinos Llucud y Palictahua, permitió dilucidar la verdadera importancia de estas formaciones naturales.

Palictahua presentó mayor diversidad de hongos que Llucud, sin embargo es importante cuidar ambos bosques, por la gran riqueza microbiana autóctona de cada formación ecosistémica, con potencialidades para incorporarse a programas de control biológico de plagas agrícolas y un sinnúmero de aplicaciones en varios campos.

## References

- [1] Abarenkov, K. et al., 2010. The UNITE database for molecular identification of fungi – recent updates and future perspectives. *New Phytologist*, 186: 281-285.
- [2] Aturnatura. 2012. *Glomus macrocarpum* Tul. & C. Tul. [Internet]. Num. 363 [actualizado 11 marzo 2012; citado 8 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.asturnatura.com/especie/glomus-macrocarpum.html>
- [3] Bolger, A., Lohse, M., & Usadel, B. 2014. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30 (15): 2114–2120.
- [4] Bushnell, B., Rood, J., & Singer, E. 2017. BBMerge – Accurate paired shotgun read merging via overlap. *PLOS ONE* 12(10):
- [5] Buzzini, P., Lachance, M.-A., & Yurkov, A. 2017. *Yeasts in Natural Ecosystems: Ecology*. Switzerland, Suiza: Springer. 281 P.

- [6] Cadena, J., Martínez, M., Guzmán, L., & Arteaga, L. 2016. Aplicación de secuenciación masiva para el estudio y exploración de diversidad microbiana y su aprovechamiento biotecnológico. *AGROproductividad*, 9 (2): 70-83.
- [7] Camacho, C., et al., 2009. BLAST+: architecture and applications. *BMC bioinformatics*, 10(1), 421.
- [8] Caranqui, J., Salas, F., Haro, W., & Palacios, C. 2014. Avances en la diversidad y composición florística en los páramos y bosques de la provincia de Chimborazo. ESPOCH, GADP CHIMBORAZO. 76 P.
- [9] Carballar, S., Hernández, V., Montaña, N., Larsen, J., Ferrera, R., Taboada, O. et al. 2017. Native communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Capsicum annuum* L. respond to soil properties and agronomic management under field conditions. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 245: 43-51.
- [10] Chen, A., Varga, J., Frisvad, J., Jiang, X., & Samson, R. Polyphasic taxonomy of *Aspergillus* section Cervini. *Studies in Mycology*. [Internet]. 2016 [citado 9 septiembre 2018]. 85: 65–89. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5192051/>
- [11] Chen, C., Verkley, G., Sun, G., Groenewald, J., & Crous, P. Redefining common endophytes and plant pathogens in *Neofabraea*, *Pezizula*, and related genera. *Fungal biology* [Internet]. 2016. [citado 12 septiembre 2018]. 120: 1291-1322. Disponible en: [http://www.westerdijkinstitute.nl/images/ResearchGroups/Phytopathology/pdf/2016\\_Chen\\_Neofabraea.pdf](http://www.westerdijkinstitute.nl/images/ResearchGroups/Phytopathology/pdf/2016_Chen_Neofabraea.pdf)
- [12] Chen, J., Xu, L.-L., Liu, B., & Liu, X.-Z. 2007. Taxonomy of *Dactylella* complex and *Vermispora*. III. A new genus *Brachyphoris* and revision of *Vermispora*. *Fungal Diversity*, 26, 127-142. Obtenido de <http://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/26-5.pdf>
- [13] Crous, P., & Groenewald, J. 2012. *Coleophoma proteae* Crous, sp. nov. En: *Fungal Planet description sheets*. *Persoonia*. 28: 162-163.
- [14] Denis, J., Sabou, M., Degot, T., Candolfi, E., & Letscher-Bru, V. First case of *Arthrographis kalrae* fungemia in a patient with cystic fibrosis. *Med Mycol Case Rep*. [Internet]. 2016 [citado 10 septiembre 2018]. 14: 8-11. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5154970/>
- [15] Edgar, R., Haas, B., Clemente, J., Quince, C., & Knight, R. 2011. UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics*, 27 (16): 2194–2200.
- [16] Fan, L., Liu, X., & Cao, J. *Tuber turmericum* sp. nov., a Chinese truffle species based on morphological and molecular data. *Mycological Progress*. [Internet]. 2015 [citado 12 septiembre 2018]. 14: 111 P. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11557-015-1134-z>

- [17] Filippucci, S., Tasselli, G., Scardua, A., Di Mauro, S., Cramarossa, M., Perini, D. et al. Study of *Holtermanniella wattica*, *Leucosporidium creatinivorum*, *Naganishia adeliensis*, *Solicoccozyma aerea*, and *Solicoccozyma terricola* for their lipogenic aptitude from different carbon sources. *Biotechnol Biofuels*. [Internet]. 2016 [citado 10 septiembre 2018]. 9: 259 P. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5126845/>
- [18] Gareth, E. B., Hyde, K., & Pang, K.-L. *Freshwater Fungi: and Fungal-like Organisms*. Berlín, Germany: Walter de Gruyter GmbH. [Internet]. 2014. [citado 11 septiembre 2018]. 495 P. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=mXfnBQAAQBAJ&pg=PA283&lpg=PA283&dq=Gromochytrium+mamkaevae%C2%A0&source=#v=onepage&q=Gromochytrium%20mamkaevae%C2%A0&f=false>
- [19] Gómez, A., et al. *Simplicillium coffeanum*, a new endophytic species from Brazilian coffee plants, emitting antimicrobial volatiles. *Phytotaxa*. [Internet]. 2018. [citado 11 septiembre 2018]. 333(2): 188-198. Disponible en: <https://biotaxa.org/Phytotaxa/article/view/phytotaxa.333.2.2>
- [20] Hawksworth, D. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycol Res* 105:1422–1432
- [21] Hawksworth, D. 2004. Fungal diversity and its implications for genetic resource collections. *Stud Mycol* 50:9–18
- [22] Hirai, A., Kano, R., Makimura, K., Robson, E., Soares, J., Lachance, M. et al. *Malassezia nana* sp. nov., a novel lipid-dependent yeast species isolated from animals. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. [Internet]. 2004. [citado 11 septiembre 2018]. 54: 623–627. Disponible en: <http://www.microbiologyresearch.org/docserver/fulltext/ijsem/54/2/623.pdf?expires=1536128746&id=id&acname=guest&checksum=7C6E9511FD03C3739350E7EB4E6088FB>
- [23] Ibarra, J., Del Rincón, M., Galindo, E., Patiño, M., Serrano, L., García, R. et al. Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos. *Rev Latinoam Microbiol*. [Internet]. 2006. [citado 11 septiembre 2018]. 48(2): 113-120. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062k.pdf>
- [24] Jayasiri, S., Hyde, K., Ariyawansa, H., Bhat, J., Buyck, B., & Cai, L. The Faces of Fungi database: fungal names linked with morphology, phylogeny and human impacts: *Deniquelata barringtoniae* Facesoffungi number: FoF 00035. *Fungal Diversity*. [Internet]. 2015. [citado 9 septiembre 2018]. 74(1): 3-18. Disponible en: <http://www.facesoffungi.org/deniquelata-barringtoniae-facesoffungi-number-fof-00035/>
- [25] Johnston, P., & Duckchul, P. *Neocoleroa metrosideri* sp. nov. (Symptoventuriaceae, Venturiales). *Phytotaxa*. [Internet]. 2016. [citado 11 septiembre 2018]. 253(3): 214

- P. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/299473347\\_Neocolero\\_a\\_metrosideri\\_sp\\_nov\\_Sympoventuriaceae\\_Venturiales](https://www.researchgate.net/publication/299473347_Neocolero_a_metrosideri_sp_nov_Sympoventuriaceae_Venturiales)
- [26] Kebbe, J., & Mador, J. *Exophiala pisciphila*: una nueva causa de micosis broncopulmonar alérgica. *J Thorac Dis.* [Internet]. 2016. [citado 14 septiembre 2018]. 8(7): 538-541. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4958854/>
- [27] Langvad, F., & Engjom. Identification leaflets for diseases and parasites of fish and shellfish. International Council for the Exploration of the Sea. [Internet]. 2016. [citado 12 septiembre 2018] 5 P. Disponible en: <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Disease%20Leaflets/Sheet%20no%2042.pdf>
- [28] Lee, E., Lee, J., Eo, J., Ka, K., & Eom, A. Notes on Some Unrecorded Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Collected from Rhizospheres of Plants in Korea. [Internet]. 2012. [citado 10 septiembre 2018]. 42: 306-311. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/270574180\\_Notes\\_on\\_Some\\_Unrecorded\\_Species\\_of\\_Arbuscular\\_Mycorrhizal\\_Fungi\\_Collected\\_from\\_Rhizospheres\\_of\\_Plants\\_in\\_Korea](https://www.researchgate.net/publication/270574180_Notes_on_Some_Unrecorded_Species_of_Arbuscular_Mycorrhizal_Fungi_Collected_from_Rhizospheres_of_Plants_in_Korea)
- [29] Lendemmer, J., & Hodkinson, B. *Chirleja buckii*, a new genus and species of lichenized-fungi from Tierra del Fuego, southern South America. *New Zealand Journal of Botany.* [Internet]. 2012. [citado 14 septiembre 2018]. 50(4): 449-456. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0028825X.2012.732093>
- [30] Lim, S., Lee, S., Kong, H., & Lee, J. Entomopathogenicity of *Simplicillium lanosoniveum* Isolated in Korea. *Mycobiology.* [Internet]. 2014. [citado 9 septiembre 2018]. 42(4): 317-321. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4298834/>
- [31] Liu, D., & Paterson, R. R. (2011). 25 *Chrysosporium*. En *Molecular Detection of Human Fungal Pathogens* (págs. 197-200). Estados Unidos: CRC Press. Disponible en: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/33400/1/document\\_6946\\_1.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/33400/1/document_6946_1.pdf)
- [32] Madrid, H., da Cunha, K., Gené, J., Dijksterhuis, J., Cano, J., Sutton, D. et al. Novel *Curvularia* species from clinical specimens. *Persoonia.* [Internet]. 2014. [citado 11 septiembre 2018]. 33: 48-60. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4312937/>
- [33] Mahé, F., Rognes, T., Quince, C., De Vargas, C., & Dunthorn, M. 2014. Swarm: robust and fast clustering method for amplicon-based studies. *PeerJ* 2:e593
- [34] Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal.* [Internet]. 2013. [citado

- 11 septiembre 2018]. 28(1): 1-11. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v28n1/rpv01113.pdf>
- [35] Méndez, H., Marmolejo, J., Olalde, V., Cantú, C., & Varela, L. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Micología*. [Internet]. 2012. [citado 7 septiembre 2018]. 36: 49-56. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v36/v36a8.pdf>
- [36] Midgley, D., Greenfield, P., Bissett, A., & Tran-Dinh, N. First evidence of *Pezoloma ericae* in Australia: using the Biomes of Australia Soil Environments (BASE) to explore the Australian phylogeography of known ericoid mycorrhizal and root-associated fungi. *Mycorrhiza*. [Internet]. 2017. [citado 11 septiembre 2018]. 27(6): 587-594. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28315064>
- [37] Mochizuki, K., Nishida, T., Murata, K., Ishida, K., Sunada, A., Asari, S. et al. *Rousoella solani* causing keratomycosis, with an observed both sexual and asexual morphs. *Journal of Infection and Chemotherapy*. [Internet]. 2017. [citado 14 septiembre 2018]. 23(9): 651-654. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1341321X17300521>
- [38] Molina, R., & Trappe, J. Biology of the ectomycorrhizal genus, *Rhizopogon*. *New Phytol.* [Internet]. 1994. [citado 7 septiembre 2018]. 126: 653-675. Disponible en: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02961.x>
- [39] Moreira, G., & Vale, H. Occurrence of Yeast Species in Soils under Native and Modified Vegetation in an Iron Mining Area. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [Internet]. 2018. [citado 11 septiembre 2018]. 42. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/326584518\\_Occurrence\\_of\\_Yeast\\_Species\\_in\\_Soils\\_under\\_Native\\_and\\_Modified\\_Vegetation\\_in\\_an\\_Iron\\_Mining\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/326584518_Occurrence_of_Yeast_Species_in_Soils_under_Native_and_Modified_Vegetation_in_an_Iron_Mining_Area)
- [40] Moubasher, A., Abdel, M., & Soliman, Z. 2018. *Neurospora tetraspora* D. Garcia, Stchigel & Guarro (= *Gelasinospora tetrasperma* Dowding) as a first record to Egypt. *European Journal of Biological Research*. 8(1): 14-20.
- [41] Muñoz, C., Cano, L., & González, A. 2010. Detección e Identificación de *Histoplasma capsulatum* por el laboratorio: De los métodos convencionales a las pruebas moleculares. *Infectio*. 14(2): 145-158.
- [42] Myco-Ual. 2013. Filo Ascomycota. (U. d. Almería, Ed.) [Internet]. [citado 9 septiembre 2018]. Disponible en: <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/ascos.htm>
- [43] MykoWeb. 2014. California Fungi-*Amanita vernicocora*. [Internet]. [citado 11 septiembre 2018]. Disponible en: [http://www.mykoweb.com/CAF/species/Amanita\\_vernicocora.html](http://www.mykoweb.com/CAF/species/Amanita_vernicocora.html)

- [44] Navarro, P., Egea, J., & Llimona, X. 2000. *Caloplaca cancarixiticola*, A New Species from South-East Spain Growing on Ultrapotassic Rocks. *The Lichenologist*. 32(2): 129-138.
- [45] Ondov, B., Bergman, N., & Phillippy, A. 2011. Interactive metagenomic visualization in a Web browser. *BMC bioinformatics*, 12(1): 385 PP.
- [46] Pintos, C., Redondo, V., Aguín, O., Ferreiroa, V., & Mansilla, J. First Report of *Pleurostoma richardsiae* Causing Grapevine Trunk Disease in Spain. *Plant disease*. [Internet]. 2016 [citado 9 septiembre 2018]. 100(10): 2168 P. Disponible en: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-04-16-0444-PDN>
- [47] Pruitt, K., Tatusova, T., & Maglott, D. 2007. NCBI reference sequences (RefSeq): a curated non-redundant sequence database of genomes, transcripts and proteins. *Nucleic Acids Research*, 35 (1): 61-65.
- [48] Põldmaa, K. Tropical species of *Cladobotryum* and *Hypomyces* producing red pigments. *Stud Mycol*. [Internet]. 2011 [citado 12 septiembre 2018]. 68: 1-34. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3065983/>
- [49] Poro, S., & Sorenson, W. *Reniforma strues*, a New Yeast from WasteWater. *Mycologia*. [Internet]. 1990 [citado 9 septiembre 2018]. 82(5): 549. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/271783256\\_Reniforma\\_strues\\_a\\_New\\_Yeast\\_from\\_WasteWater](https://www.researchgate.net/publication/271783256_Reniforma_strues_a_New_Yeast_from_WasteWater)
- [50] Raimondo, M., & Carlucci, A. Characterization and pathogenicity assessment of *Plectosphaerella* species associated with stunting disease on tomato and pepper crops in Italy. *Plant Pathol*. [Internet]. 2018 [citado 13 septiembre 2018]. 67: 626-641. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppa.12766>
- [51] Riess, K., Oberwinkler, F., Bauer, R., & Garnica, S. Communities of Endophytic Sebaciniales Associated with Roots of Herbaceous Plants in Agricultural and Grassland Ecosystems Are Dominated by *Serendipita herbamans* sp. nov. *PLoS One*. [Internet]. 2014 [citado 10 septiembre 2018]. 9(4). Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0094676>
- [52] Rognes, T., Flouri, T., Nichols, B., Quince, C., & Mahé, F. 2016. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ* 4:e2584
- [53] Sasan, R. K., & Bidochka, J. M. 2012. The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. *American Journal of Botany*, 99(1): 101-107.
- [54] Schmit, J., & Mueller, G. 2007. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodivers Conserv*. 16: 99–111

- [55] Shi, Y., Richter, C., Challinor, V., Grün, P., Del Río, A., Kaiser, M., et al. Georatusin, a Specific Antiparasitic Polyketide-Peptide Hybrid from the Fungus *Geomyces auratus*. *Org. Lett.* [Internet]. 2018 [citado 8 septiembre 2018]. 20(6): 1563-1567. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29474084>
- [56] Tangarife, V. (2011). *Fonsecaea pedrosoi*. [Internet]. [citado 11 septiembre 2018]. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=100839>
- [57] Tello, S. *Tricharina praecox* var. *praecox*. *Kew Bull.* [Internet]. 1971 [citado 14 septiembre 2018]. 25(2): 338 P. Disponible en: <http://www.micobotanicajaen.com/Revista/Articulos/STelloM/Aportaciones019/Tricharina%20praecox%20var%20praecox%20FICHA%20%20TERMINADA.pdf>
- [58] Trakunyingcharoen, T., Lombard, L., Groenewald, J., Cheewangkoon, R., To-Anun, C., Alfenas A. et al. Mycoparasitic species of *Sphaerellopsis*, and allied lichenicolous and other genera. *IMA Fungus.* [Internet]. 2014. [citado 11 septiembre 2018]. 5(2): 391-414. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25734030>
- [59] Turner, M. *Mortierella globulifera* Rostrup. *Transacciones de la Sociedad Micológica Británica.* [Internet]. 1956. [citado 15 septiembre 2018]. 39: 291-296. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007153656800132>
- [60] Varela, L., Mora, A., Chávez, C., Martínez, A., García, B., Chimal, E. et al. *Acaulospora alpina* y *Ambispora fennica*, dos registros nuevos de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* [Internet]. 2017. [citado 11 septiembre 2018]. 88(3): 496-501. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345317301112>
- [61] Velegraki, A., Cafarchia, C., Gaitanis, G., Iatta, R., & Boekhout, T. *Malassezia* Infections in Humans and Animals: Pathophysiology, Detection, and Treatment. *PLoS Pathog.* [Internet]. 2015. [citado 10 septiembre 2018]. 11(1). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4287564/>
- [62] Wagner, L., Stielow, B., Hoffmann, K., Petkovits, T., Papp, T., Vágvölgyi, C. et al. A comprehensive molecular phylogeny of the Mortierellales (Mortierellomycotina) based on nuclear ribosomal DNA. *Persoonia.* [Internet]. 2013. [citado 15 septiembre 2018]. 30: 77–93. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3734968/>
- [63] Wu, Q., Zou, Y., & Huang, Y. The arbuscular mycorrhizal fungus *Diversispora spurca* ameliorates effects of waterlogging on growth, root system architecture and antioxidant enzyme activities of citrus seedlings. *Fungal Ecology.* [Internet]. 2013.

[citado 12 septiembre 2018]. 6(1): 37-43. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504812001195>

- [64] Yadav, D., Woo, S., Adhikari, M., Hyun, Y., Seung, H., Kim, C. et al. Three New Records of *Mortierella* Species Isolated from Crop Field Soil in Korea. *Mycobiology*. [Internet]. 2015. [citado 8 septiembre 2018]. (43): 203-209. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4630425/>