

## Diversidad de hifomicetos acuáticos en la cabecera de la quebrada Grande, estado Miranda, Venezuela

### Aquatic hyphomycetes from headwaters of the Grande stream, state Miranda, Venezuela

Rafael Fernández Da Silva<sup>\*1</sup>  y Gunta Smits Briedis<sup>2</sup> 

1. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Departamento de Biología, Centro de Biotecnología Aplicada, Universidad de Carabobo, Venezuela

2. Laboratorio de Fitopatología, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

#### Resumen

En los ecosistemas dulceacuícolas, en particular en sistemas lóticos como ríos y quebradas prístinos, se encuentran los hifomicetos acuáticos: hongos anamórficos que degradan material vegetal alóctono o autóctono, facilitando el flujo de nutrientes y energía a niveles tróficos superiores. La presencia de estos microorganismos fúngicos es importante desde el punto de vista ecológico ya que pueden ser bioindicadores de calidad ambiental. Este grupo es ecológicamente heterogéneo y se clasifica en tres tipos: a) ingoldianos, cuyas esporas, mayoritariamente hialinas y tetraradiadas, se desarrollan exclusivamente en el agua; b) aeroacuáticos, de forma helicoidal, cuyo desarrollo se presenta entre el agua y el aire; c) transicionales, de esporas generalmente de forma variable y de color pardo, con desarrollo tanto en el agua como en el suelo. A partir de muestras de espuma natural y mediante microscopía de luz, se registraron mensualmente, durante un año, la riqueza y la diversidad de estas especies en la cabecera de la quebrada Grande, cerca de una represa de agua para la comunidad aledaña. Se identificaron 73 especies: 41 ingoldianas, 4 aero-acuáticas y 28 transicionales, incluyendo 22 nuevos registros para el país: tres ingoldianos (*Tetracladium apiense*, *Tetracladium breve* y *Tetracladium furcatum*), un aero-acuático (*Helicodendron intestinale*) y 18 transicionales (*Acrodactys septosporioides*, *Acumispora uniseptada*, *Bactrodesmium fruticosum*, *Blodgettia indica*, *Dactylaria acerina*, *Dactylaria echinophila*, *Dactylaria humicola*, *Dactylaria pyricularoides*, *Endophragmiella pallescens*, *Fusariella curvata*, *Fusariella hughesii*, *Fusarium phragmitis*, *Mirandina corticola*, *Sporidesmium acutifusiforme*, *Sporidesmium casuarinae*, *Stenella doliiformis*, *Stenella ocoteae* y *Stenella variabilis*). Entre ellos, el aero-acuático y 17 transicionales, excepto *Blodgettia indica*, son nuevos reportes para América neotropical. Se encontró que los hifomicetos acuáticos son muy diversos, en particular los ingoldianos y transicionales. Solo algunas especies dominan ampliamente en cada categoría.

**Palabras clave:** hongos acuáticos; espuma; neotrópico; diversidad

#### Abstract

In freshwater ecosystems, particularly in lotic systems, such as rivers and streams, are aquatic hyphomycetes, which are anamorphic fungi that degrade allochthonous or indigenous plant material, facilitating the flow of nutrients and energy to higher trophic levels, through which the presence of these fungal microorganisms is ecologically important, since they can be possible bioindicators of environmental quality. This group of fungi is ecologically heterogeneous, being classified into three types: a) Ingoldian, whose spores are mostly hyaline and tetradial, develop exclusively in water, b) aero-aquatic, helical in shape, whose development occurs between water and air and c) transitional, with spores generally variable in shape and brown in color, developing both in water and in soil. Therefore, from samples of natural foam and by means of light microscopy, the richness and diversity of species was recorded monthly for a year at the head of the Grande stream, near a water dam for the neighboring community. A total of 73 species were identified, 41 Ingoldian, 4 Aero-aquatic, and 28 transitional, including 22 new reports for the country: three Ingoldian (*Tetracladium apiense*, *Tetracladium breve* and *Tetracladium furcatum*), one Aero-aquatic (*Helicodendron intestinale*) and eighteen transitional (*Acrodactys septosporioides*, *Acumispora uniseptada*, *Bactrodesmium fruticosum*, *Blodgettia indica*, *Dactylaria acerina*, *Dactylaria echinophila*, *Dactylaria humicola*, *Dactylaria pyricularoides*, *Endophragmiella pallescens*, *Fusariella curvata*, *Fusariella hughesii*, *Fusarium phragmitis*, *Mirandina corticola*, *Sporidesmium acutifusiforme*, *Sporidesmium casuarinae*, *Stenella doliiformis*, *Stenella ocoteae* and *Stenella variabilis*), of which, the Aero-aquatic and 17 transitionals, except *Blodgettia indica*, are new reports for neo-tropical America. Aquatic hyphomycetes were found to be very diverse, particularly the Ingoldian and Transitional types, with only a few species in each group dominating widely.

**Key words:** Aquatic fungi; foam; neotropic; diversity

\*Autor de correspondencia: [rafaelfer21031970@gmail.com](mailto:rafaelfer21031970@gmail.com)

Editor: Víctor Macías

Recibido: 14 de diciembre de 2022

Aceptado: 18 de agosto de 2023

Publicación en línea: 27 diciembre de 2023

Citar como: Fernández-Da Silva, R y Smits Briedis G. (2023).

Diversidad de hifomicetos acuáticos en la cabecera de la quebrada grande, estado Miranda, Venezuela, (18): 2.

<https://doi.org/10.21676/23897864.4980> .



## Introducción

En el ecosistema acuático, los hifomicetos son organismos fúngicos anamórficos (basidiomicetos y ascomicetos asexuales) que desempeñan un papel fundamental en la descomposición de materia vegetal sumergida, especialmente en sistemas lóticos. Gracias al potencial enzimático conformado por amilasas, glucanasas, celulasas y ligninasas, transforman la materia orgánica en estados más digeribles para otras comunidades acuáticas presentes en ríos y riachuelos (Bärlocher, 1992). Esta misma función la pueden cumplir, aunque en menor dimensión, en sistemas lénticos como lagos y lagunas (Da Silva *et al.*, 2019) debido a su versátil capacidad adaptativa para crecer, reproducirse y dispersarse en dichos ambientes.

Aparte de la clasificación taxonómica clásica, estos microorganismos fúngicos pueden catalogarse ecológicamente en tres grupos: a) hongos Ingoldianos, cuyo nombre es atribuido honoríficamente a Ingold, investigador pionero en el estudio de estos hongos hialinos y tetraradiados, que cumplen todo su ciclo de vida en el agua (Descals, 2005); b) hongos aeroacuáticos, que desarrollan hifas vegetativas exclusivamente en el agua y esporas solo al contacto con el aire, principalmente en áreas estancadas (Michaelides y Kendrick, 1982); c) hongos transicionales, también denominados lignícolas o dematiáceos, que son de carácter facultativo ya que pueden desarrollarse tanto en el ambiente terrestre como en el acuático en restos vegetales sumergidos (Descals y Moralejo, 2001).

En los sistemas lóticos, estos hongos colonizan diferentes tipos de restos vegetales. Así, constituyen un significativo eslabón en la cadena alimenticia del ecosistema dulceacuícola esencialmente, entre el complicado armazón de material vegetal sumergido y los insectos acuáticos, conformado por los conidios libres en el cuerpo de agua y por los conidióforos desarrollados en la superficie de los sustratos (Descals y Moralejo, 2001).

Desde el punto de vista ambiental, la biomasa fúngica, medida a través del contenido de ergosterol, es un sustancial indicador ecológico en sistemas acuáticos. Por otra parte, en el área biotecnológica, estos hongos acuáticos son muy importantes ya que algunas especies producen enzimas hidrolíticas útiles para las actividades industriales y biorremediadoras (Fernández *et al.*, 2010). Asimismo, pueden catalogarse como bioindicadores de calidad del agua ya que su riqueza de especies o concentración

de esporas se suele relacionar con óptimas condiciones microbiológicas (bajos niveles de bacterias coliformes) y fisicoquímicas (pH neutro a levemente básico y altos niveles de oxígeno disuelto) (Fernández *et al.*, 2017; Fernández y Smits, 2020, 2021) y a su vez son sensibles a pequeños cambios antropogénicos tales como la cantidad de nutrientes, metales pesados (Kumar y Pachauri, 2022) y nanoplasticos (Du *et al.*, 2022; Seena *et al.*, 2022; Seena *et al.*, 2022). De este modo, estos organismos representan un sistema de alerta del ecosistema dulceacuícola a la sociedad humana (Seena *et al.*, 2022).

A pesar de que este tipo de hongos se distribuyen en todas las latitudes, la mayor proporción de estos se ha reportado en las zonas templadas (Ingold, 1975; Jabiol *et al.*, 2013), donde las especies son similares de acuerdo a regiones climáticas parecidas (Duarte *et al.*, 2016). Sin embargo, al hallarse pocos trabajos en las regiones tropicales, no se puede corroborar dicha aseveración. De hecho, la zona neotropical se caracteriza por ser la de mayor diversidad biológica, por lo que cabe suponer que la reducida intensidad investigativa en hifomicetos acuáticos es lo que ha determinado los aparentes bajos registros (Schoenlein-Crusius y Grandi, 2003). En efecto, en los últimos años algunos investigadores de Argentina (Kravetz *et al.*, 2023; Tarda *et al.*, 2019), Brasil (Farias *et al.*, 2023a; Farias *et al.*, 2023b; Fiuza *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023) y Venezuela (Fernández y Smits, 2020, 2021) han publicado trabajos que han permitido incrementar significativamente la diversidad de estos hongos en la región de América Latina.

Estos microorganismos fúngicos también varían según la estación del año. La mayor cantidad de conidios se puede encontrar en otoño y en el inicio del invierno en la zona templada (Iqbal, 1997), mientras que en la tropical esto se vincula con las etapas de sequía y lluvia (Tsui *et al.*, 2016), oscilando de acuerdo con: a) el tipo de sustrato (Justiniano y Betancourt, 1989), b) la naturaleza química del tejido foliar (Ferreira *et al.*, 2016), c) interacciones interespecíficas (Chauvet, 1991), y d) factores climatológicos y características fisicoquímicas del agua (Justiniano y Betancourt, 1989).

Ahora bien, más allá de las recientes publicaciones de hifomicetos acuáticos en Argentina (Kravetz *et al.*, 2023) y Brasil (Farias *et al.*, 2023a; Farias *et al.*, 2023b; Gomes *et al.*, 2023), aún son escasos los trabajos en hifomicetos acuáticos en sistemas lóticos en esta zona neotropical del mundo y específicamente en Venezuela. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo registrar este tipo de hongos en la cabecera de la quebrada Grande, una fuente importante de agua para las zonas rurales aguas abajo, a las afueras de la ciudad de Los Teques

(capital del Estado Miranda), con miras a proseguir la investigación del papel bioindicador de estos organismos en el diagnóstico de perturbación ambiental.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó durante un año (enero-diciembre de 2021) en la cabecera de la quebrada Grande (sin afectación antropogénica), del municipio Guaicaipuro, estado Miranda, Venezuela (10° 22' 34,654" N y 67° 3' 37,463" O, 1217 m.s.n.m.). Los datos se tomaron en cercanías de la represa de agua de Hidrocapital (empresa hidrológica estatal), que surge al caserío Las Cadenas de las afueras de la ciudad de Los Teques (capital del estado), dedicado al cultivo y a la cría de subsistencia.

El riachuelo en estudio presenta principalmente una cobertura vegetal ribereña de tipo selva hidrófila megatérmica (Huber y Alarcón, 1988), aunque algunos sectores habían sido reforestados con *Eucalyptus urograndis* y *Pinus caribaea*, sin predominio de alguna especie en el aporte de hojarasca al sistema. Morfométricamente, el cuerpo de agua es del tipo step-pool o de tramos en secuencias escalonadas, con rocas de tamaño medio, en conjunto con arena y arcilla. Su ancho se encuentra entre 1,5 y 2 m; la profundidad, de 10,7 -12,5 cm; la velocidad de la corriente, de 5,0 - 5,5 cm/s; y la media de descarga, de 23,5-24,8 m<sup>3</sup>/s. Las características fisicoquímicas de esta parte de la quebrada son: 22,8 °C de temperatura promedio anual, 3,1 mS/cm de conductividad, 7,3 de pH (levemente básico), incolora (1,2 g/L de materia orgánica en suspensión y 0,2 NTU de turbidez) y bien oxigenada (7,5 mg/L de oxígeno disuelto).

Los hifomicetos acuáticos se recolectaron por un año (sequía: diciembre a abril; lluvias: mayo a noviembre), en los remansos de la quebrada, a un ritmo de 30 muestras al azar de 1 mL de espuma natural por semana. Para procesarlos, se siguió la metodología descrita por Smits *et al.* (2007). La observación y el registro fotográfico de las esporas, a un aumento de 400X, se hicieron mediante un microscopio de luz Leika DM 1000 con cámara digital del Centro de Biotecnología Aplicada (CBA). La identificación taxonómica a nivel de especie se basó en la clave para hifomicetos del neotrópico de Santos-Flores y Betancourt-

López (1997), así como en la de hongos dematiáceos de Ellis (1971) y (1976), en la de microhongos de Matsushima (1971) y en las memorias micológicas de Matsushima (1980, 1982, 1983, 1985, 1987, 1989, 1993, 1995, 1996, 2001). La nomenclatura se validó a través de los bancos de datos Index Fungorum (<http://indexfungorum.org>) y Mycobank (<http://mycobank.org>).

Además, las especies encontradas se catalogaron según la clasificación ecológica planteada por Descals y Moralejo (2001) y Descals (2005) en ingoldianas (I), aeroacuáticas (A) y transicionales (T). Finalmente, se establecieron el número de especies (riqueza) por mes y la frecuencia relativa (número de meses en que aparecía la especie) de estas. De tal modo, se distribuyeron en tres grupos de acuerdo con la escala propuesta por Fernández y Smits (2013): a) <25 %= rara o poco frecuente, b) 25-75 %= frecuente y c) >75 %= muy frecuente).

Los datos de riqueza y número de individuos encontrados por mes durante el año de estudio, para los tres grupos ecológicos de hifomicetos acuáticos, se analizaron a fin de determinar la diversidad de estos organismos. Para dicho propósito se calcularon los índices de Shannon (H') y Simpson (D), así como de dominancia, utilizando los programas estadísticos Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v.18 y PAST v.2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

## Resultados

En este estudio se registró una riqueza de hifomicetos acuáticos de 73 especies, todas del *phylum* Ascomycota, lo que reafirma que la mayoría de este tipo de organismos fúngicos en sistemas lóticos son del grupo de los ascomicetos. Los hongos hallados se agrupan en 22 familias: Acrodictyaceae (1), Aliquandostipitaceae (1), Amniculicolaceae (3), Beltraniaceae (1), Calloriaceae (5), Capnodiaceae (1), Discinellaceae (3), Dermateaceae (2), Helotiaceae (8), Halosphaeriaceae (2), Helminthosphaeriaceae (1), Hypocreomycetidae *incertae sedis* (3), *Incertae sedis* (16), Leotiaceae (3), Lunulosporaceae (2), Melanommataceae (3), Nectriaceae (3), Sporidesmiaceae (2), Tubeufiaceae (3), Tricladiaceae (3), Tetraplophaeriaceae (4) y Wiesneriomycetaceae (3). También, según la clasificación ecológica de especies de hifomicetos acuáticos, se encontraron 56 % ingoldianas (41), 38 % transicionales (28) y 6 % aero-acuáticas (4) (tabla 1).

Hifomicetos acuáticos en la cabecera de la Quebrada Grande, Estado Miranda, Venezuela

Tabla 1. Registro mensual de especies de hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande (municipio Guaicaipuro, estado Miranda). Familia: Acrodityaceae (Ac), Aliquandostipitaceae (Al), Amniculicolaceae (Am), Beltraniaceae (B), Calloriaceae (Cl), Capnodiaceae (Cp), Discinellaceae (Dc), Dermateaceae (De), Helotiaceae (H), Halosphaeriaceae (Ha), Helminthosphaeriaceae (He), Hypocreomycetidae *incertae sedis* (Hy), *Incertae sedis* (IN), Leotiaceae (L), Lunulosporaceae (Lu), Melanommataceae (Me), Nectriaceae, (N), Sporidesmiaceae (S), Tubeufiaceae (T), Tricladaceae (Tc), Tetraplospiraaceae (Te), Wiesneriomycetaceae (W). TH: tipo de hifomicetos acuáticos: ingoldiano (I), aeroacuático (A), transicional (T). FR (%): frecuencia relativa de especies: ▲: >75 %, ▼: 25-75 %; ►: <25 %. E: enero; F: febrero; M: marzo; A: abril; Ma: mayo; Ju: junio; J: julio; Ag: agosto; S: septiembre; O: octubre; N: noviembre; D: diciembre.

Especies	F	TH	Meses												Fr	
			E	F	M	A	Ma	Ju	J	Ag	S	O	N	D		
<i>Acrodictys septosporioides</i>	Ac	T				•										►
<i>Acumispora fragmospora</i>	De	T				•										►
<i>Acumispora uniseptada</i>	De	T						•								►
<i>Alatospora acuminata</i>	L	I				•						•				►
<i>Alatospora constricta</i>	L	I								•						►
<i>Anguillospora crassa</i>	Am	I	•						•				•			▼
<i>Anguillospora filiformis</i>	Am	I		•							•				•	▼
<i>Amniculicola longissima</i>	Am	I				•		•				•		•		▼
<i>Articulospora tetracladia</i>	H	I		•			•			•					•	▼
<i>Beltrania rhombica</i>	B	T	•						•							►
<i>Bactrodesmium fruticosum</i>	IN	T						•								►
<i>Bactrodesmium indica</i>	IN	T													•	►
<i>Brachiosphaera tropicalis</i>	Al	I	•	•		•	•	•			•		•	•	•	▼
<i>Camposporidium</i> spp.	Me	T		•				•					•			▼
<i>Camposporium antennatum</i>	Me	T	•	•		•		•	•		•	•		•		▼
<i>Campylospora chaetocladia</i>	Hy	I	•					•							•	▼
<i>Campylospora filicladia</i>	Hy	I	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•		▲
<i>Campylospora parvula</i>	Hy	I		•			•	•	•	•		•		•		▼
<i>Clavatospora stellata</i>	Ha	I		•								•				►
<i>Clavatospora tentacula</i>	Ha	I	•			•			•	•	•	•	•	•	•	▲
<i>Culicidospora gravida</i>	H	I				•		•	•				•		•	▼
<i>Dactylaria acerina</i>	H	T					•									►
<i>Dactylaria echinophila</i>	H	T					•									►
<i>Dactylaria humicola</i>	H	T					•									►
<i>Dactylaria pyricularoides</i>	H	T					•									►
<i>Dendrospora erecta</i>	H	I									•					►
<i>Diplocladiella longibrachiata</i>	IN	T				•			•			•		•	•	▼
<i>Diplocladiella</i> sp.	IN	T		•						•	•					▼
<i>Endophragmiella pallescens</i>	He	T					•									►
<i>Flabellospora acuminata</i>	IN	I	•					•	•				•	•		▼
<i>Flabellospora verticillata</i>	IN	I						•								►
<i>Flabellocladia tetracladia</i>	IN	I				•				•						►
<i>Flagellospora curvula</i>	L	I						•								►
<i>Fusariella curvata</i>	IN	T						•								►
<i>Fusariella hughesii</i>	IN	T												•		►
<i>Fusarium phragmitis</i>	N	T					•									►
<i>Helicodendron intestinale</i>	H	A					•									►
<i>Helicomycetes colligatus</i>	T	A		•					•			•	•	•		▼
<i>Helicomycetes</i> spp.	T	A				•		•				•				▼
<i>Helicomycetes torquatus</i>	T	A	•					•				•				▼
<i>Heliscus lugdunensis</i>	N	I					•									►

Especies	F	TH	Meses											Fr		
			E	F	M	A	Ma	Ju	J	Ag	S	O	N		D	
<i>Heliscus submersus</i>	N	I		•							•		•		•	▼
<i>Isthmotricladia gombakiensis</i>	IN	I			•				•							▼
<i>Lemonniera aquatica</i>	Dc	I		•												▼
<i>Lunulospora curvula</i>	Lu	I		•		•	•				•			•		▼
<i>Lunulospora cymbiformis</i>	Lu	I				•										▼
<i>Margaritispora monticola</i>	IN	T						•								▼
<i>Phalangispora constricta</i>	W	I		•					•					•		▼
<i>Phalangispora nawawii</i>	W	I		•							•				•	▼
<i>Scorpiosporium angulatum</i>	Tc	I				•				•						▼
<i>Scorpiosporium chaetocladium</i>	Tc	I						•				•				▼
<i>Scorpiosporium</i> spp.	Tc	I			•											▼
<i>Scutisporus brunneus</i>	IN	T						•				•				▼
<i>Speiropsis pedatospora</i>	W	I			•											▼
<i>Sporidesmium acutifusiforme</i>	S	T				•										▼
<i>Sporidesmium casuarinae</i>	S	T						•								▼
<i>Sporidesmium filiferum</i>	S	T									•			•		▼
<i>Stenella doliiformis</i>	Te	T				•										▼
<i>Stenella ocoteae</i>	Te	T						•								▼
<i>Stenella variabilis</i>	Te	T				•										▼
<i>Tetrachaetum elegans</i>	Dc	I								•						▼
<i>Tetracladium apiense</i>	Cl	I	•													▼
<i>Tetracladium breve</i>	Cl	I						•								▼
<i>Tetracladium furcatum</i>	Cl	I		•												▼
<i>Tetracladium marchalianum</i>	Cl	I	•					•				•				▼
<i>Tetracladium setigerum</i>	Cl	I		•						•					•	▼
<i>Tetraploa</i> cf. <i>aristata</i>	Te	T						•				•				▼
<i>Tripospermum myrti</i>	Cp	T			•											▼
<i>Triscelophorus acuminatus</i>	IN	I	•		•	•			•	•		•	•			▼
<i>Triscelophorus curviramiifer</i>	IN	I						•								▼
<i>Triscelophorus monosporus</i>	IN	I		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•		▲
<i>Triscelophorus ponapensis</i>	IN	I						•								▼
<i>Varicosporium delicatum</i>	Dc	I						•								▼
N° especies ingoldianas (I)			9	14	11	9	15	10	12	9	5	11	10	11		
N° especies transicionales (T)			2	3	2	12	8	5	2	2	3	3	3	3		
N° especies aeroacuáticas (A)			1	1	1	1	2	1	0	0	2	1	1	1		
N° especies total			12	18	14	22	25	16	14	11	10	15	14	15		
Resumen	Total		73			I:	41		T:	28			A:	4		

Asimismo, se reportan 22 especies nuevas para el país: tres ingoldianas (*Tetracladium apiense* Sinclair & Eicker, 1981, *Tetracladium breve* Roldán, 1989 y *Tetracladium furcatum* Descals 1983, una aeroacuática (*Helicodendron intestinale* Abdullah, 1979) y 18 transicionales (*Acrodictys septosporioides* Matsush., 1983, *Acumispora uniseptada* Matsush., 1980, *Bactrodesmium fruticosum* Matsush., 1993, *Blodgettia indica* Subram., 1954, *Dactylaria acerina* Matsush., 1983, *Dactylaria echinophila* Matsush., 1983, *Dactylaria humicola* Matsush., 1985, *Dactylaria pyricularoides* Matsush., 1980, *Endophragmiella pallescens* Sutton, 1973, *Fusariella*

*curvata* Lin, Wang & Hyde, 2016, *Fusariella hughesii* Matsush., 1982, *Fusarium phragmitis* Arnaud & Matsush., 1975, *Mirandina corticola* Matsush., 1987, *Sporidesmium acutifusiforme* Matsush., 1993, *Sporidesmium casuarinae* Matsush., 1987, *Stenella doliiformis* Matsush., 1983, *Stenella ocoteae* Dornelo-Silva & Dianse, 2008, y *Stenella variabilis* Matsush., 1987). De ellas, la especie aero-acuática y 17 de las transicionales, excepto *Blodgettia indica*, son nuevos registros para América neotropical (figura 1).



Figura 1. a) *A. septosporioides*, b) *A. uniseptada*, c) *B. fruticosum*, d) *B. indica*, e) *D. acerina*, f) *D. echinophila*, g) *D. humicola*, h) *D. pyricularoides*, i) *E. pallescens*, j) *F. curvata*, k) *F. hughesii*, l) *F. phragmitis*, m) *H. intestinalis*, n) *M. corticola*, o) *S. acutifusiforme*, p) *S. casuarinae*, q) *S. doliiformia*, r) *S. ocoteae*, s) *S. variabilis*, t) *T. apiense*, u) *T. breve*, v) *T. furcatum*. Escala de 10  $\mu$ m.

El número total de especies por mes también fue muy variable en el año de muestreo, oscilando entre 10 y 25, con fluctuaciones máximas en febrero (18), abril (22) y mayo (25), mientras que las mínimas se hallaron en enero (12), agosto (11) y septiembre (10). Una tendencia similar se presentó para los tres grupos considerados desde el punto de vista ecológico, con variaciones de 5 a 15 en el Ingoldiano, de 2 a 12 en el transicional y de 1 a 2 e incluso sin reporte en los meses de julio y agosto para el aero-acuático (tabla 1).

Asimismo, se observa una elevada riqueza de especies, que ejerce un rol importante en los altos índices de diversidad de Shannon (H') y de Simpson (D), determinados tanto de manera general (H': 3,7 y D: 0,97) como en particular por grupo ecológico, durante los doce meses de estudio. En el caso del índice de Shannon, se hallaron valores superiores de dos, excepto en el grupo de los

hifomicetos aero-acuáticos (H': 1,1). Este último resultó ser el menos diverso al tener pocos individuos de pocas especies reportadas en solo algunos meses del año de investigación. El Ingoldiano, en cambio, fue el más diverso (H': 3,2), seguido por el transicional (H': 2,9).

La tendencia anterior se reafirma con el índice de Simpson, que también mide dominancia de especies. Los valores hallados para este parámetro fueron cercanos a uno, tanto en el grupo Ingoldiano (D: 0,94) como en el transicional (D: 0,91), mientras que el aero-acuático tuvo un resultado de 0,64. De este modo se evidencia una elevada diversidad de especies ingoldianas, seguidas de las transicionales y, finalmente, las aero-acuáticas. Igualmente, se pudo determinar que ciertas especies dominan ampliamente en cada grupo, en particular en el Ingoldiano y en el transicional, lo cual se ratifica con el registro superior a 0,80 en el valor general, por grupos y por mes (tabla 2).

Tabla 2. Riqueza, diversidad y dominancia de los hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande (municipio Guaicaipuro, estado Miranda) en 12 meses. Tipo de hongo. Ing: Ingoldiano; trans: transicional; A-A: Aero-acuático. Meses: En: enero; Feb: febrero; Mar: marzo; Abr: abril; May: mayo Jun: junio; Jul: julio; Ag: agosto; Sept: septiembre; Oct: octubre; Nov: noviembre y Dic: diciembre.

Índices	Tipo de hongo				Meses											
	General	Ing	Trans	A-A	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Riqueza	73	41	28	4	12	18	14	22	25	16	14	11	10	15	14	15
Shannon	3,7	3,2	2,9	1,1	2,4	2,7	2,5	3,0	3,1	2,6	2,6	2,3	2,1	2,6	2,5	2,6
Simpson	0,97	0,94	0,91	0,64	0,90	0,93	0,91	0,94	0,95	0,92	0,92	0,89	0,86	0,91	0,91	0,92
Dominancia	0,86	0,86	0,85	0,82	0,96	0,95	0,94	0,98	0,96	0,94	0,98	0,95	0,92	0,94	0,96	0,95

## Discusión

Con este trabajo se incrementan los registros de riqueza de hifomicetos acuáticos en América tropical, y en particular en Venezuela. Así, tras la actualización de 89 especies de estos hongos realizada por Fernández y Smits (2015) y los subsecuentes reportes en los ríos Guáquira (Fernández y Smits, 2018), Vigirima (Fernández y Smits, 2020) y Borburata y Patanemo (Fernández y Smits, 2021), se ha llegado a un total de 150 especies halladas en Venezuela, de las cuales 139 han sido agregadas en los últimos 27 años luego de seis décadas de investigación en torno a este tipo de microorganismos fúngicos en diferentes cuerpos de agua venezolanos, donde en un principio Nilsson (1962) había descrito tan solo 11 especies.

La riqueza de hifomicetos acuáticos en Venezuela (Fernández y Smits, 2015) se ratifica en especial en cuerpos de agua no impactados ambientalmente. De esta forma se corrobora entonces la alta calidad ambiental en el área prístina de la quebrada Grande estudiada, lo cual puede alentar la realización de nuevas investigaciones en ese ámbito en otros cuerpos de agua del país y en América Latina.

Siguiendo la clasificación ecológica de los hifomicetos acuáticos en tres grupos, los hongos Ingoldianos se caracterizan por poseer conidias hialinas de morfología hidrodinámica, cuyo desarrollo se da exclusivamente en el agua; los transicionales, por su parte, presentan esporas sin morfología hidrodinámica y de color generalmente marrón, de desarrollo tanto en el agua como en el suelo; por último, los aero-acuáticos cuentan con esporas de forma helicoidal y carecen de estructuras de anclaje al sustrato, como los del primer grupo, por lo que se desarrollan en la transición agua-aire (Descals, 2005; Descals y Moralejo, 2001). En consecuencia, era de esperarse que el mayor porcentaje de hifomicetos acuáticos encontrado en este estudio fueran los Ingoldianos, dadas las características morfológicas ventajosas para su desarrollo en el ambiente acuático en estudio.

Con relación a los nuevos reportes para el país, es importante resaltar que las tres especies del género *Tetracladium* halladas confirman la amplia distribución de los hongos Ingoldianos en el mundo gracias a su carácter cosmopolita, que les permite desarrollarse tanto en el agua como en raíces de ciertas especies vegetales, con hábito endofítico (Lazar *et al.*, 2022). Por su parte, *H. intestinale*, considerada aero-acuática, se ha encontrado colonizando restos vegetales sumergidos del género *Quercus* (Abdullah *et al.*, 1979) y en especies de zona templada tales como el pino o el eucalipto, árboles introducidos en la zona de

estudio. Finalmente, se registraron por primera vez para la región 17 especies de hifomicetos acuáticos de tipo transicional. Estos organismos, en particular, no poseen adaptaciones morfológicas para su flotabilidad y dispersión en el agua y por ello son difíciles de captar mediante la técnica de espuma natural o de agua; generalmente, pueden observarse en material vegetal incubado *in vitro* (Fiuza *et al.*, 2017). Por lo tanto, la presencia de más de un tercio de este grupo fúngico puede deberse a que, en la zona de remansos donde se formó la espuma natural recolectada, se amontona de manera sumergida gran cantidad de residuos vegetales de diferente tipo y de distintas especies, lo que facilita la acumulación de esporas de estos hongos, aumentando su riqueza.

Las mismas especies muy frecuentes o frecuentes encontradas en este trabajo se han descrito en Venezuela, en los ríos Cabriales (Fernández y Smits, 2005; Fernández y Smits, 2009), Cupira (Pinto *et al.*, 2009; Storaci *et al.*, 2013, 2014), Guárico (Fernández y Smits, 2011), Cata, Cumboto y Cuyagua (Pinto y Smits, 2012), y en las quebradas Pinetes, El Vino (Cressa y Smits, 2007), Guatopo y Martinera (Smits *et al.*, 2007) y La Estación (Fernández y Smits, 2013). Se destaca que la mayoría de estos hongos presentan conidias de forma tetra radiada, lo cual es una ventaja en los ensamblajes de hifomicetos acuáticos con respecto a especies con esporas de morfologías no hidrodinámicas del tipo sigmoideas o compactas (Dang *et al.*, 2007). De igual manera, es usual que algunas especies aparezcan con poca frecuencia o raramente durante la investigación, tal como ocurrió en el presente estudio y en los trabajos en ríos de Puerto Rico (Betancourt *et al.*, 1987) y de Venezuela (Fernández y Smits, 2016, 2018, 2020, 2021; Fernández *et al.*, 2017).

Asimismo, la oscilación en el número de especies por mes es una constante en estos trabajos ya que, ecológicamente, estos microorganismos fúngicos son cosmopolitas, de cuerpos de agua lóticos translúcidos, de mediana turbulencia y buena aireación (Ingold, 1975), independientemente de la altitud y la latitud (Koske y Duncan, 1974), asociados a algún tipo de vegetación ribereña, con interacciones intraespecíficas o interespecíficas y con condiciones fisicoquímicas particulares (Ferreira *et al.*, 2016). La estacionalidad también tiene un papel notable, ya sea en regiones templadas con las cuatro estaciones o en zonas tropicales con dos periodos de precipitación. En el primer caso, la riqueza de especies y la concentración de esporas son mayores en el otoño y en el invierno (Gönczöl y Revay, 1999), mientras que en verano predominan las especies características de la región tropical (Chauvet, 1991). En el trópico

la variación en la cantidad de especies, aunque escasa, se relaciona principalmente a cambios en los parámetros climáticos, biológicos y fisicoquímicos (Betancourt *et al.*, 1987), de forma que la riqueza aumenta con las lluvias (Paliwal y Sati, 2009).

No obstante, las fluctuaciones mensuales en el número de especies de hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande no permiten concluir un patrón entre el periodo de lluvias o de sequía ya que no se observó una tendencia clara en la disminución o el incremento de estos organismos fúngicos. En contraste, Schoenlein-Crusius *et al.* (2015), al evaluar la riqueza de hongos Ingoldianos y transicionales en cuerpos de agua del Parque Municipal da Aclimação, en São Paulo-Brasil, región tropical, pudieron determinar que las pequeñas variaciones en riqueza de especies estaban asociadas a cambios climáticos, fisicoquímicos del agua y de la biota (Betancourt *et al.*, 1987), presentando mayores valores en periodos lluviosos (Paliwal y Sati, 2009). En todo caso, los resultados en este trabajo concuerdan con los descritos en otros ríos venezolanos como Guárico (Fernández y Smits, 2011), Chirgua (Fernández y Smits, 2016) y Guáquira (Fernández y Smits, 2018), que presentan similares características climáticas, fisicoquímicas y biológicas a las de la zona de estudio.

Asimismo, en esta investigación se corrobora por primera vez la elevada diversidad de especies de hifomicetos acuáticos en sistemas dulceacuícolas prístinos de Venezuela, independientemente del periodo de precipitación del año. En ese sentido, se destaca el grupo Ingoldiano como el más diverso, seguido del transicional y, por último, el aeroacuático. Este aporte representa una novedad frente a trabajos previos en el país, que se habían limitado a reportar el número de especies encontradas en un año de muestreo (Fernández y Smits, 2005, 2009, 2011, 2013, 2016, 2018, 2020, 2021) sin discriminar el grupo de especies desde el punto de vista ecológico.

Ahora bien, en otras zonas del América del Sur, concretamente en Brasil, sí se ha señalado una alta diversidad de hifomicetos Ingoldianos y facultativos, en particular en época lluviosa, al trabajar con muestras vegetales incubadas (Schoenlein-Crusius *et al.*, 2015). En este caso, la diversidad osciló en función de la región geográfica, según variaciones en los parámetros climatológicos y de cobertura vegetal (Farias *et al.*, 2023). Cabe anotar, sin embargo, que la riqueza de especies en función del grupo ecológico puede variar dependiendo del tipo de recolección. Así, Faria *et al.* (2023) informan sobre mayores valores en los hongos transicionales, seguidos de los ingoldianos y los aero-acuáticos, al emplear muestras vegetales

incubadas en cuerpos de agua de Río Grande del Norte, en Brasil, ya que estas son propicias para el desarrollo de especies facultativas, mientras que en la recolección por espuma natural, utilizada en el presente trabajo, es mayor la captura de especies de formas hidrodinámicas, que son típicamente Ingoldianas, tal como se describió en los ríos Borburata y Patanemo en Venezuela (Fernández y Smits, 2021).

Finalmente, los resultados descritos en este estudio en cuanto a los elevados valores de riqueza y diversidad de hifomicetos acuáticos, incluyendo nuevos reportes para el país, ratifican la gran biodiversidad de estos organismos en el neotrópico. En esa medida, estos hongos pueden representar un patrón bioindicador de calidad ambiental, tal como se ha planteado en reportes previos en cuerpos de agua venezolanos que dan cuenta de especies tolerantes o sensibles a la perturbación antropogénica (Fernández y Smits, 2020, 2021; Storaci *et al.*, 2013), así como otras investigaciones en el arroyo Gutiérrez (afluente del río Luján) de Argentina (Kravetz *et al.*, 2023), el río Acaciñas de Colombia (Kravetz y Pardo, 2020) y doce ríos de tercer orden tributarios del río Uruguay en Brasil (Breda *et al.*, 2021). Por lo tanto, es clave impulsar el desarrollo de nuevos trabajos en otros ríos venezolanos y de América Latina, a fin de incrementar la cantidad de registros de estos hongos tan importantes tanto en el ámbito ecológico como en el biotecnológico.

### Agradecimientos

Al Sr. Jesús Acosta, bombero del estado Miranda, por el traslado en vehículo a la zona de estudio, así como al Br. Juan José Bermúdez, que facilitó la toma de muestras durante el año de muestreo.

### Conflicto de intereses

Los autores declararon no tener ningún conflicto de intereses.

### Contribución de los autores

Rafael Fernández Da Silva y Gunta Smits Briedis: conceptualización, escritura y edición, desarrollo del diseño metodológico, adquisición de la financiación, toma de datos, análisis de datos.

### Referencias

Abdullah, S., Fisher, J. y Webster, J. (1979). Two new species of aero-aquatic hyphomycete. *Transactions of the British Mycological Society*, 72(2), 324-329. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(79\)80052-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(79)80052-2).



- Bärlocher, F. (1992). Community Organization. En F. Bärlocher (Ed.), *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes* (pp. 38-76). Springer-Verlag.
- Betancourt, C., Cruz, J. y Garcia, J. (1987). Los hifomicetos acuáticos de la Quebrada Doña Juana en el Bosque Estatal de Toro Negro, Villalba, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 23(2), 278-284.
- Breda, M., Binotto, A., Biasi, C. y Hepp, U. (2021). Influence of environmental predictors on hyphomycete assemblages in subtropical streams. *Acta Oecologica*, 113, 103778.
- Chauvet, E. (1991). Aquatic Hyphomycete Distribution in South-Western France. *Journal of Biogeography*, 18(6), 699-706. <https://doi.org/10.2307/2845551>.
- Cressa, C. y Smits, G. (2007). Aquatic hyphomycetes in two blackwater streams of Venezuela. *Ecotropicos*, 20(2), 82-85.
- Da Silva, C. R., Castañeda, R. y Malosso, E. (2019). Comparison of aquatic hyphomycetes communities between lotic and lentic environments in the Atlantic rain forest of Pernambuco, Northeast Brazil. *Fungal Biology*, 123(9), 660-668. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.05.013>.
- Dang, C., Gessner, M. y Chauvet, E. (2007). Influence of conidial traits and leaf structure on attachment success of aquatic hyphomycetes on leaf litter. *Mycologia*, 99(1), 24-32. <https://doi.org/10.3852/mycologia.99.1.24>.
- Descals, E. (2005). Diagnostic characters of propagules of Ingoldian fungi. *Mycological Research*, 109(5), 545-555. <https://doi.org/10.1017/S0953756205002728>.
- Descals, E. y Moralejo, E. (2001). El agua y la reproducción asexual en los hongos ingoldianos. *Botánica Complutensis*, 25, 13-71.
- Du, J., Qv, W., Niu, Y., Qv, M., Jin, K., Xie, J. y Li, Z. (2022). Nanoplastic pollution inhibits stream leaf decomposition through modulating microbial metabolic activity and fungal community structure. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127392.
- Duarte, S., Bärlocher, F., Pascoal, C. y Cássio, F. (2016). Biogeography of aquatic hyphomycetes: Current knowledge and future perspectives. *Fungal Ecology*, 19, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.06.002>.
- Ellis, M. B. (1971). *Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute.
- Ellis, M. B. (1976). More Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute.
- Farias, H., Assuncao, A., Souza, D., Rodrigues, F. y Fiuza, P. (2023). Aquatic hyphomycetes associated with plant debris in freshwater ecosystems of the Atlantic Forests of Rio Grande do Norte, Brazil. *New Zealand Journal of Botany*, 61(1). <https://doi.org/10.1080/0028825X.2023.2201456>.
- Farias, H., De Souza, D., Souza, J., Araujo, L., Rodrigues, F. y Fiuza, P. (2023). Diversity and composition of asexual ascomycetes associated with aquatic and terrestrial forest plant debris in Rio Grande do Norte (Brazil) revealed by direct observation. *Nova Hedwigia*, 116(1-2), 89-104. [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2023/0724](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2023/0724).
- Fernández, R. y Smits, G. (2005). Estudio preliminar de los hongos acuáticos en el río Cabriales (Parque San Esteban, Edo. Carabobo). *Saber*, 17, 147-149.
- Fernández, R. y Smits, G. (2009). Registro de la presencia de hifomicetos en ríos de la cordillera de la costa, Venezuela. *Interciencia*, 34(8), 589-592.
- Fernández, R. y Smits, G. (2011). Hifomicetos acuáticos en la cabecera del río Guárico en el Estado Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 36(11), 831-834.
- Fernández, R. y Smits, G. (2013). Diversidad de hifomicetos acuáticos en la quebrada "La Estación" de la Hacienda Ecológica "La Guáquira", Yaracuy, Venezuela. *Interciencia*, 38(7), 496-501.
- Fernández, R. y Smits, G. (2015). Actualización de inventario de especies de hifomicetos acuáticos en Venezuela. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 153-180.
- Fernández, R. y Smits, G. (2016). Hifomicetos acuáticos en la cabecera del río Chirgua, Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 41(2), 110-113.
- Fernández, R. y Smits, G. (2018). Registro de hifomicetos acuáticos en el río Guáquira de la Reserva Ecológica Guáquira (San Felipe, Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 121-128. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.71778>.
- Fernández, R. y Smits, G. (2020). Hifomicetos acuáticos como bioindicadores de calidad ambiental en el río Vigirima (Guacara, Carabobo-Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 23(2), 165-181. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.95686>.
- Fernández, R. y Smits, G. (2021). Hifomicetos acuáticos en los ríos Borburata y Patanemo (Puerto Cabello, Carabobo-

- Venezuela) como bioindicadores de calidad ambiental. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 98607. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.98607>.
- Fernández, R., Smits, G. y Pinto, M. (2010). Características e importancia de los hifomicetos acuáticos y registro de especies en Venezuela. *Revista Faraute de Ciencias y Tecnología*, 5(2), 1-15.
- Fernández, R., Storaci, V. y Smits, G. (2017). Evaluación de los hifomicetos acuáticos como bioindicadores de calidad ambiental en el río Chirgua (Bejuma, Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 20(1), 82-94. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n1.62241>.
- Ferreira, M., Raposeiro, P., Pereira, A., Cruz, A., Costa, A., Graça, M. y Gonçalves, V. (2016). Leaf litter decomposition in remote oceanic island streams is driven by microbes and depends on litter quality and environmental conditions. *Freshwater Biology*, 61(5), 783-799. <https://doi.org/10.1111/fwb.12749>.
- Fiuzza, P., Cantillo, T., Monteiro, J., Gulis, V. y Gusmão, L. (2017). Rare hyphomycetes from freshwater environments from Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. *Nova Hedwigia*, 104(4), 451-466. [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2016/0375](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0375).
- Fiuzza, P., Barbosa, F., Medeiros, A. y Gusmão, L. (2022). Ingoldian fungal assemblages from Brazilian rainforests, shrubland and savanna. *New Zealand Journal of Botany*, 60(3), 297-313. <http://dx.doi.org/10.1080/0028825X.2021.2023197>.
- Gomes, Ubiratan, L., De Souza, R., Gonçalves, J., Da Silva, M., Moretto, Y., Chaves, R., Restello, R. y Medeiros, A. (2023). The cooler the better: Increased aquatic hyphomycete diversity subtropical streams along a neotropical latitudinal gradient. *Fungal Ecology*, 62, 101223. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101223>.
- Gönczöl, J. y Révay, A. (1999). Studies on the aquatic hyphomycetes of the Morgò stream, Hungary. II. Seasonal periodicity of conidial populations. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 144(4), 495-508. <https://doi.org/10.1127/archivhydrobiol/144/1999/495>.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4(1), 4.
- Huber, O. y Alarcón, C. (1988). Mapa de vegetación de Venezuela. 1:2.000.000. MARNR. The Nature Conservancy.
- Ingold, C. T. (1975). An Illustrated Guide to Aquatic and Water-Borne Hyphomycetes (Fungi Imperfecti) with Notes on Their Biology. Freshwater Biological Association.
- Iqbal, S. H. (1997). Species diversity of freshwater hyphomycetes in some streams of Pakistan. II. Seasonal differences of fungal communities on leaves. *Annales Botanici Fennici*, 34(3), 165-178.
- Jabiol, J., Bruder, A., Gessner, M., Makkonen, M., Mckie, B., Peeters, E., Vos, V. y Chauvet, E. (2013). Diversity patterns of leaf-associated aquatic hyphomycetes along a broad latitudinal gradient. *Fungal Ecology*, 6(5), 439-448. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2013.04.002>.
- Justiniano, J. y Betancourt, C. (1989). Hongos ingoldianos presentes en el río Maricao, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 25, 111-114.
- Koske, R. y Duncan, I. (1974). Temperature effects on growth, sporulation and germination of some "aquatic" hyphomycetes. *Canadian Journal of Botany*, 52(6), 1387-1391. <https://doi.org/10.1139/b74-180>.
- Koske, R. y Duncan, I. (1974). Temperature effects on growth, sporulation and germination of some "aquatic" hyphomycetes. *Canadian Journal of Botany*, 52(6), 1387-1391. <https://doi.org/10.1139/b74-180>.
- Kravetz, S. y Pardo, Y. (2020). Presencia de hongos ingoldianos productores de esporas sigmoideas y tetraradiadas en dos tramos del río Acaciñas (Acacias, Meta-Colombia). III Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería, Villavicencio-Meta, Universidad de los Llanos, Colombia.
- Kravetz, S., Rodríguez, C., Vilches, C., Huta, F. y Giorgi, A. (2023). Hongos y algas como indicadores de la calidad del agua de un arroyo urbano. *Ecología Austral*, 33(2), 314-640.
- Kumar, G. y Pachauri, S. (2022). Fungi: The indicators of pollution. En S. Bandh y S. Shafi (Eds.), *Freshwater Mycology. Perspectives of fungal dynamics in freshwater ecosystems* (pp. 277-296).
- Lazar, A., Mushinski, R. y Bending, G. (2022). Landscape scale ecology of Tetracladium spp. fungal root endophytes. *Environmental Microbiome*, 17(40). <https://doi.org/10.1186/s40793-022-00431-3>.
- Matsushima, T. (1971). Microfungi of the Solomon Islands and Papua-New Guinea.
- Matsushima, T. (1980). Saprophytic microfungi from Taiwan. Part. 1. Hyphomycetes. *Matsushima Mycological Memoirs* No 1. Matsushima Fungus Collection.

- Matsushima, T. (1982). *Matsushima Mycological Memoirs* No 2. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1983). *Matsushima Mycological Memoirs* No 3. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1985). *Matsushima Mycological Memoirs* No 4. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1987). *Matsushima Mycological Memoirs* No 5. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1989). *Matsushima Mycological Memoirs* No 6. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1993). *Matsushima Mycological Memoirs* No 7. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1995). *Matsushima Mycological Memoirs* No 8. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1996). *Matsushima Mycological Memoirs* No 9. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (2001). *Matsushima Mycological Memoirs* No 10. Matsushima Fungus Collection.
- Michaelides, J. y Kendrick, B. (1982). The bubble-trap propagules of *Beverlykella*, *Helicoon* and other aeroaquatic fungi. *Mycotaxon*, 14, 247-260.
- Nilsson, S. (1962). Some aquatic hyphomycetes from South America. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 56, 351-361.
- Paliwal, P. y Sati, S. (2009). Distribution of Aquatic Fungi in Relation to Physicochemical Factors of Kosi River in Kumaun Himalaya. *Nature Science*, 7(3), 70-74.
- Pinto, M. y Smits, G. (2012). Evaluación preliminar de la riqueza de especies de hifomicetos acuáticos en ríos de la vertiente norte de la cordillera de la costa, Estado Aragua-Venezuela. *Intropica*, 7, 31-36.
- Pinto, M., Fernández, R. y Smits, G. (2009). Comparación de métodos en la caracterización de la biodiversidad de hifomicetos acuáticos en el río Cúpira, Estado Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 34(7), 497-501.
- Santos-Flores, C. y Betancourt-López, C. (1997). Aquatic and water-borne hyphomycetes (Deuteromycotina) in streams of Puerto Rico (Including records from other Neotropical locations). *Caribbean Journal of Science* (Spec. Publ. 2).
- Schoenlein-Crusius, I. y Grandi, R. (2003). The diversity of aquatic Hyphomycetes in South America. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(3), 183-193. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822003000300001>.
- Schoenlein-Crusius, I., Moreira, C. y Gomes, E. (2015). Riqueza dos fungos ingoldianos e dos fungos aquáticos facultativos do Parque Municipal da Aclimação, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 42(2), 239-251. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-52/2014>.
- Seena, S., Baschien, C., Barros, J., Sridhar, K., Graca, M., Mykra, H. y Bundschuh, M. (2022). Ecosystem services provided by fungi in freshwaters: a wake-up call. *Hydrobiologia*, 850, 2779-2794. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05030-4>.
- Seena, S., Gutiérrez, I., Barros, J., Nunes, C., Marques, J., Kumar, S. y Goncalves, A. (2022). Impacts of low concentrations of nanoplastics on leaf litter decomposition and food quality for detritivores in streams. *Journal of Hazardous Materials*, 429, 128320. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128320>.
- Smits, G., Fernández, R. y Cressa, C. (2007). Preliminary study of aquatic hyphomycetes from Venezuelan streams. *Acta Botánica Venezuelica*, 30(2), 345-355.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. (2013). Evaluación de la calidad de agua del río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. *Interciencia*, 38(7), 480-487.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. (2014). Hifomicetos acuáticos en el río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela). *Ciencia*, 22(1), 21-27.
- Tarda A., Nazareno, M. y Gómez, N. (2019). Assemblage of dematiaceous and Ingoldian fungi associated with leaf litter of decomposing *Typha latifolia* L. (Typhaceae) in riverine wetlands of the Pampean plain (Argentina) exposed to different water quality. *Journal of Environmental Management*, 250, 109409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109409>.
- Tsui, C., Baschien, C. y Goh, T. (2016). Biology and Ecology of Freshwater Fungi. En D. W. Li (Ed.), *Biology of Microfungi* (pp. 285-313). Springer Verlag.