

Artículo de Revisión

Hongos marinos lignícolas en ecosistemas de manglar: Estado del conocimiento y perspectivas de investigación en Ecuador

Lignicolous marine fungi in mangrove ecosystem: State of knowledge and research perspective in Ecuador

Ricardo Tamayo-Cevallos^{1*}

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Código postal: 471, Ecuador

*ricardo.tamayoc@ug.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.26807/remcb.v41i2.880>

Recibido 18-08-2020; Aceptado 30-10-2020

RESUMEN.- Los hongos marinos corresponden a un grupo de organismos adaptados a los ecosistemas marinos y estuarinos, cumpliendo un importante rol como descomponedores de sustratos orgánicos, principalmente residuos lignocelulósicos. A pesar de los grandes avances en el estudio de los hongos marinos, las investigaciones realizadas en Sudamérica, son escasas o inexistentes para varios ecosistemas costeros. En Ecuador, la mayor parte de investigaciones no han sido formalmente publicadas, por lo que la presencia de estos organismos en nuestro país no ha sido catalogada. En esta revisión se describe el rol fundamental de estos microorganismos en ecosistemas de manglar, así como su taxonomía y ecología. Además, se provee una lista actualizada con las especies descritas para los manglares del Ecuador, así como también se revisa los vacíos de información existentes sobre la biología de éstos en el país y se plantean investigaciones futuras con la finalidad de expandir el conocimiento de los hongos marinos lignícolas en el Ecuador.

Palabras claves: Ascomycota; Manglares; Ecuador, Lista de especies, Hongo marino.

ABSTRACT.- Marine fungi correspond to a group of organisms adapted to marine and estuarine ecosystems, fulfilling an important role as decomposers of organic substrates, mainly wood. Despite the great advances in the study of marine fungi, research carried out in South America is scarce or non-existent for several coastal ecosystems. In Ecuador, most of the research has not been formally published, therefore, the presence of these organisms in our country has not been cataloged. This review describes the fundamental role of these microorganisms in mangrove ecosystems, as well as their taxonomy and ecology. In addition, an updated list of species described for the mangroves of Ecuador is provided. A review of the existing information gaps on their biology in the country and future research plans in order to expand the knowledge of lignicolous marine fungi in Ecuador are also presented.

Keywords: Marine fungi; Mangroves; Ecuador; Ascomycota; List of species.

INTRODUCCIÓN

1. Generalidades de los Manglares

El término manglar en la actualidad es empleado para agrupar a distintas especies de árboles, arbustos y una especie de palma que pertenecen a un diverso grupo de familias no relacionadas

taxonómicamente, características de áreas costeras y estuarinas (Cornejo 2014; Robertson et al. 2020). Este tipo de vegetación se encuentra en zonas con inundaciones periódicas, aguas saladas a salobres y un sustrato inestable, estas condiciones hacen que los manglares hayan desarrollado adaptaciones

morfológicas y fisiológicas a su hábitat. Algunas especies presentan raíces adventicias, raíces aéreas con geotropismo negativo (neumatóforos) y la gran mayoría posee semillas vivíparas (Cornejo 2014; Sarma y Hyde, 2001).

Los manglares son típicos de ecosistemas tropicales a subtropicales que se encuentran en las zonas intermareales, mayormente en los márgenes estuarinos. Poseen un importante rol al mantener las comunidades planctónicas y bentónicas, así como también contribuir al reciclamiento de nutrientes (Nambiar y Raveendran 2009a). Además, cumplen otras funciones ecosistémicas como reducir la corriente de marea, causar la deposición de lodo y limo, así como también proveer superficies en donde los organismos marinos puedan fijarse (Odum 1971). Estos bosques son considerados la “interface” entre hábitats terrestres y zonas costeras estuarinas (Lugo y Snedaker 1974). La importancia de los ecosistemas de manglar radica en la producción y descomposición de detritus orgánico, que provee de nutrientes a los productores primarios y su vez mantiene una rica fuente de energía que sustenta las actividades pesqueras (Sarma 2012).

El detritus que mantiene la producción en los manglares proviene de distintas fuentes, sin embargo, la mayoría es producida in situ; es así como hojas, ramas, restos de animales, neumatóforos, semillas entre otros, son las principales fuentes de material orgánico y demás sustratos son arrastrados y depositados en estos hábitats a través de las corrientes de agua dulce (Nambiar y Raveendran 2009a). Los restos vegetales lignificados son considerados como la mayor fuente de detritus en estos ecosistemas, y a pesar de que su degradación se realiza lentamente, es un componente fundamental en las redes tróficas y reciclamiento de nutrientes en los ecosistemas acuáticos (Maria, Sridhar y Barlocher 2006).

La descomposición de los restos vegetales se realiza a través de dos fases que comprenden una fragmentación física y degradación biológica mediada por bacterias y hongos (Wong et al. 1998). El proceso de degradación realizada por estos microorganismos produce detritus con alto contenido proteico, no obstante, los hongos a diferencia de las bacterias son considerados como los principales contribuyentes en este aumento del contenido en proteínas (Odum y Heald 1972; Sarma y Vittal 2000). Dentro de este último contexto, los hongos marinos poseen un importante papel en la producción de detritus orgánico en los ecosistemas

de manglar (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979), como degradadores de material vegetal lignificado y demás material orgánico en descomposición, aportando así al ciclo de reciclamiento de nutrientes dentro de ecosistemas marinos, mismo que se encuentra muy bien documentado (Nambiar y Raveendran 2009b; Sarma 2012; Hyde et al. 1998; Raghukumar et al. 1994; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979).

2. Taxonomía y ecología de hongos marinos lignícolas en los Bosques de manglar

Definición de hongo marino.- Los hongos marinos corresponden a un conjunto de organismos que presentan varias adaptaciones fisiológicas y morfológicas a ecosistemas marinos y estuarinos, lo que les ha permitido dominar frente a otros organismos emparentados. Si bien los hongos marinos corresponden a un grupo ecológico y fisiológico, más que a uno taxonómico (Hyde, Sarma y Jones 2000), a lo largo del avance de la micología marina varias definiciones se han postulado con base en distintos enfoques. Johnson y Sparrow (1961) sugirieron que el término “marino” debe ser aplicado a aquellos que presentan la capacidad de desarrollarse en agua de mar; o en ciertas concentraciones de cloruro de sodio (Meyers 1968). Sin embargo, durante varios años la definición más aceptada fue la postulada por Kohlmeyer y Kohlmeyer (1979), en la que establecen dos grupos: hongos marinos obligados y hongos marinos facultativos.

Los hongos marinos obligados son aquellos que se desarrollan en hábitats marinos y estuarinos y además tienen la capacidad de esporular en este ambiente, a diferencia de los facultativos que provienen de ecosistemas terrestres, pero no son capaces de esporular en un medio marino o estuarino. Según Jones et al. (2015) esta definición es muy restrictiva, planteando la interrogante de que si todos los hongos marinos estaban adaptados y eran metabólicamente activos en ambientes marinos. Pang et al. (2016) realizaron un nuevo consenso, proponiendo una nueva definición: “cualquier hongo que es registrado de manera repetitiva en un ecosistema marino debido a que: 1) es capaz de desarrollarse y esporular (sobre un sustrato) en un ambiente marino; 2) forma una relación simbiótica con cualquier otro organismo marino; 3) muestra adaptación y evolución a nivel genético o es metabólicamente activo en un ambiente marino”.

Número de hongos marinos.- Jones et al. (2019) estimaron un total 1257 especies de hongos marinos distribuidos en 539 géneros. Dentro de esta cifra,

la mayor parte de especies pertenecen al filum Ascomycota, con alrededor de 943 ascomicetos marinos dentro de 353 géneros. Los Ascomicetos marinos pertenecen a ocho clases distintas, de estas los Dothideomycetes y Sordariomycetes son los grupos más amplios (Jones et al. 2012). En los Dothideomycetes el cuerpo fructífero se desarrolla en un ascostroma plurilocular; las ascas son bitunicadas con o sin cámara ocular y un anillo apical que puede ser conspicuo o no; las ascosporas pueden ser hialinas y de coloración marrón, así como también poseer varios septos (Suetrong et al. 2009; Hyde et al. 2013). Los hongos marinos pertenecientes a esta clase comprenden 199 especies en 102 géneros y la mayoría pertenecen al orden Pleosporales (Pleosporomycetidae) (Jones et al. 2015). La subfamilia Dothideomycetidae comprende dos órdenes (Capnodiales y Dothideales) y los demás órdenes son clasificados dentro de Dothideomycetes *incertae sedis* (Jones et al. 2009; Suetrong 2009; Jones et al. 2015).

Los Sordariomycetes se caracterizan principalmente por presentar un cuerpo fructífero de tipo peritecial, algunas especies de tipo cleistotecial y poseer ascas unitunicadas sin opérculo (Alexopoulos et al. 1996; Maharachchikumbura et al. 2016). En la actualidad se ha reportado un total de 283 especies de hongos marinos pertenecientes a esta clase (Jones et al. 2009; Pang et al. 2010; Pang 2012), que se han establecido dentro de 12 órdenes basándose únicamente en características morfológicas. Sin embargo, de acuerdo a Jones et al. (2015) y Maharachchikumbura et al. (2016) este grupo ha sido clasificado basándose en características morfológicas y datos moleculares. Entre ellas los órdenes Lulworthiales y Koraliastetales son exclusivamente marinas (Dayarathne et al. 2015).

Hongos marinos lignícolas en ecosistemas de manglar. - Los estudios de estos hongos en ecosistemas de manglar comenzaron con el reporte de *Leptosphaeria paucispora* en partes sumergidas de árboles de mangle en Australia (Cribb y Cribb 1955); a partir de este primer reporte la mayoría de trabajos en áreas de manglar fueron principalmente de carácter taxonómico con el reporte de nuevas especies (Kohlmeyer 1966, 1969a, 1969b; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1971, 1977). En el trabajo realizado por Kohlmeyer and Kohlmeyer (1979) se listan un total de 42 especies de hongos marinos filamentosos creciendo sobre madera de mangle, mientras que Schmit and Shearer (2003) provee un estimado de 625 taxas, a pesar de que tal número abarque hongos terrestres y hongos que

se desarrollan en las partes aéreas de los mangles. En la actualidad un total de 287 especies creciendo sobre sustratos sumergidos de mangles han sido registrados (Alias, Zianuddin y Jones 2010).

Los hongos marinos lignícolas (HML) se desarrollan sobre una variedad de sustratos como madera, ramas, plántulas, semillas de mangle, neumatóforos, raíces, raíces adventicias, algas y sustratos calcáreos, aunque los estudios enfocados en hongos marinos colonizando sustratos sólidos han sobrepasado a los demás (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979). Puesto que cualquier fragmento de madera que se encuentre sometido a inundaciones periódicas en zonas marinas y estuarinas es colonizado por estos organismos. Los mangles son considerados como el segundo hospedero de hongos marinos más importante después de los fragmentos de madera flotante (Hyde, Sarma y Jones 2000), por lo que se ha estimado que representan el segundo grupo ecológico más grande de HML (Hyde y Jones 1988). Los HML poseen una amplia distribución tanto en manglares del viejo y nuevo mundo (Océano Atlántico, Pacífico e Índico) (Jones 2011). Esto se debe a que han desarrollado ascosporas ornamentadas para mejorar la estabilidad en la columna de agua y la fijación al sustrato, además poseen pequeños cuerpos fructíferos para soportar la abrasión de las mareas (Figura 1) (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979).

El estudio de estos organismos colonizando madera de mangle puede ser realizado a través de la observación de las fases reproductoras sin la necesidad de emplear cualquier otra técnica de cultivo (Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979). La mayoría de investigación en bosques de manglar se han realizado principalmente en el sudeste de Asia (Hyde 1988a,b, 1989, 1990; Hyde et al. 1993; Jones et al. 1988); en el Océano Pacífico (Hyde 1992; Kohlmeyer 1984; Kohlmeyer y Volkmann-Kohlmeyer 1987a,b, 1993); zonas tropicales del Océano Atlántico (Aleem 1980; Kohlmeyer 1980, 1981; Kohlmeyer y Volkmann-Kohlmeyer 1988); Océano Índico (Borse 1988; Hyde 1986; Hyde y Jones 1988, 1989; Jones y Hyde 1990). Además, abundante información acerca de la ecología de HML ha sido publicada: frecuencia de ocurrencia (Alias y Jones 2000a; Nambiar y Raveendran 2009a,b; Sarma y Vittal 2000; Sarma y Hyde 2001; Samón-Legrá, Lavandera y Gonzales 2014; Awaluddin et al. 2015); distribución vertical (Hyde 1988a; Hyde 1990; Alias y Jones, 2000b); especificidad al sustrato y hospederos (Leong, Tan y Jones, 1988; Nambiar y Raveendran, 2009b); así

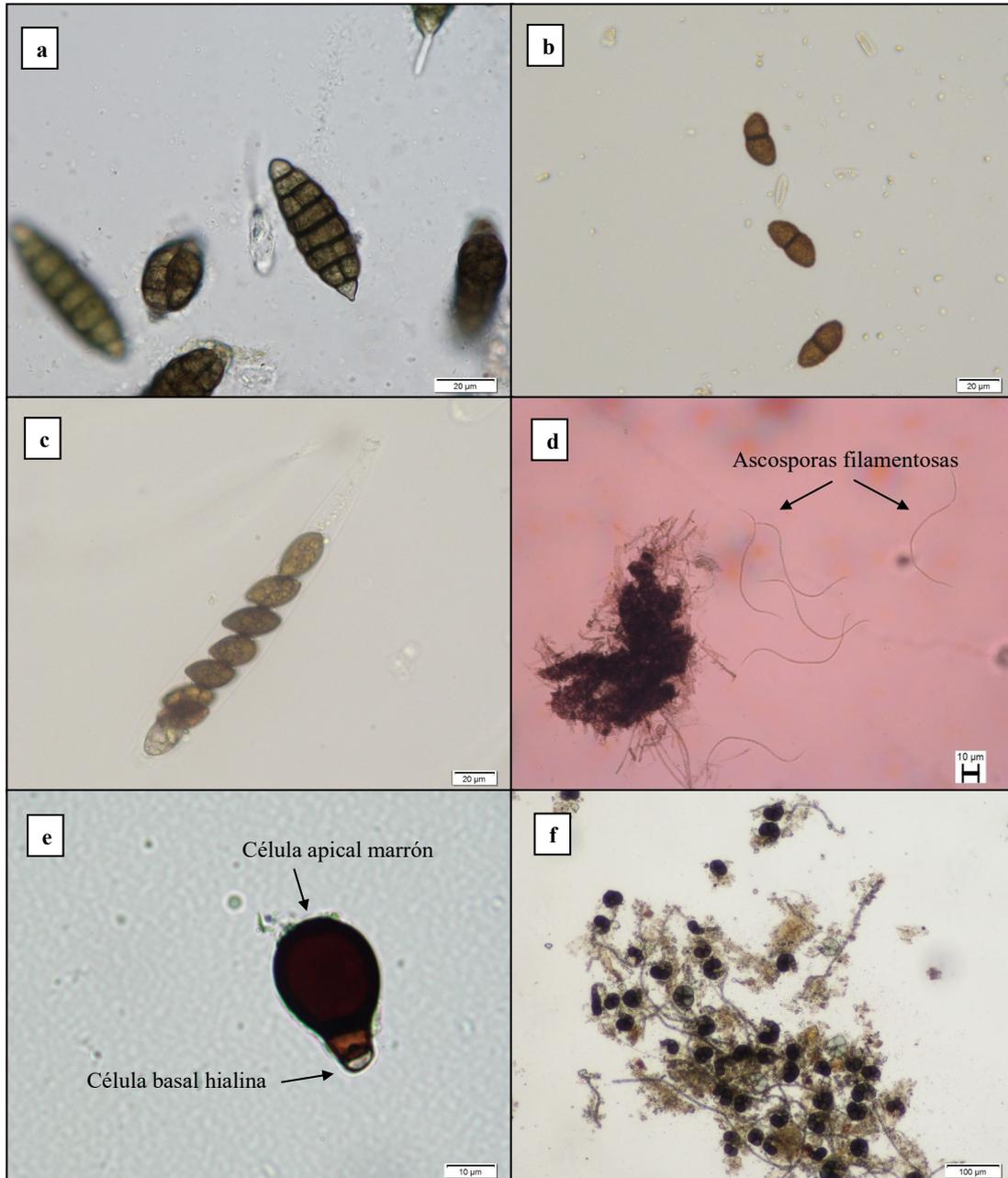


Figura 1. Morfología de las ascosporas de hongos marinos filamentosos: a) Dictiospora de *Aigialus parvus*. b) Didimospora de *Verruculina enalia*. Observe la pared de la célula con pequeñas verrugas. c) Asca conteniendo las amerosporas de un Ascomiceto no identificado. d) Ascosporas filamentosas de *Lulworthia* sp. Hongos mitospóricos: e) Conidio de *Trichocladium nypae*. f) Montaje en placa de los conidios de *Cirrenalia* sp.

como su biodiversidad (Ananda y Sridhar 2004; Alias, Zainuddin y Jones 2010; Awaluddin et al. 2015; Jones et al. 2006; Mehdi y Saifullah 2000; Pang, Jheng y Jones 2011; Sarma y Vittal 2000; Sridhar y Mangalagangothri 2009; Vittal y Sarma 2006).

Dentro de los factores que influyen la diversidad de HML según Hyde y Lee (1995) se encuentran: a) la edad del manglar; b) la diversidad de la flora de mangle existente en el ecosistema; c) la diversidad de flora terrestres y los varios microhábitats que el ecosistema puede proveer. La distribución vertical de estos organismos está directamente relacionada con la forma de liberar sus esporas al medio, morfología del cuerpo fructífero y de sus esporas, por ejemplo: Ascomicetos con la pared del ascocarpo carbonáceo se encuentran por encima de la amplitud de la marea, mientras que aquellos con pared membranacea están ubicados a lo largo del rango de marea además; la ubicación de Ascomicetos con esporas ornamentadas es por encima del rango de marea a diferencia de aquellos con esporas hialinas envainadas que se encuentran por todo el rango de marea (Hyde y Lee 1995).

Por otro lado, la salinidad y la temperatura son los principales parámetros que influyen la diversidad de estos hongos (Jones 2000). Según Ananda y Sridhar (2004) un descenso en la salinidad (0 - 1.05 ‰) puede aumentar el porcentaje de ocurrencia de taxas terrestres, debido a las fuertes lluvias que en general ocurren durante los meses de junio-noviembre en los manglares de la India, resultando en la descarga de sustratos que provienen de río arriba, lo que incrementa la colonización de hongos terrestres como *Arthrimum* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. que compiten por el sustrato con los HML. Hyde (1992) reporta un total de 19 hongos marinos sobre la especie de mangle *Kandelia candel* en la India en donde la salinidad fluctúa de 3 a 24 ‰, indicando la tolerancia a amplias variaciones de salinidad de estos hongos. Otro factor relacionado a la salinidad es la producción de enzimas lignocelulolíticas. Se ha determinado que altas concentraciones de salinidad disminuye la producción de celulasas, mientras que las enzimas peroxidasas se ven favorecidas, en cambio la productividad de lacasas es mayor en bajas concentraciones (Jones 2000; Pointing et al. 1998; Pointing et al. 1999).

En lo que respecta a los efectos de la temperatura, la mayoría de los trabajos se han enfocado en su influencia en el crecimiento a 25 °C (Jones 2000).

Sin embargo, las investigaciones realizadas por Molina y Hughes (1982) y Torzili (1997) demostraron que existe una interrelación entre la temperatura y la salinidad, por ejemplo, el hifomiceto marino *Zalerium maritimum* exhibe un aumento en su requerimiento de salinidad para su crecimiento al elevarse la temperatura. No obstante, Hyde y Lee (1995) y Jones (2000) mencionan una escasez de trabajos enfocados en la influencia de estos parámetros y cómo se ve afectado el crecimiento y diversidad de los hongos en la naturaleza. Trabajos actuales relacionados al efecto de la salinidad en el crecimiento han sido realizados sobre hongos pertenecientes a los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium* que, a diferencia de los hongos tratados aquí, son de medio terrestre y al mencionarlos como marinos se hace referencia al medio del cual fueron aislados más no a su ecología.

3. Hongos marinos lignícolas en Ecuador

Para el año 2012 los bosques de manglar en el país tenían un estimado entre 93 574 y 155 957 ha (Hamilton et al. 2018), distribuidas en las bocas de ríos estuarinos y deltas, formando una amplia extensión a lo largo del Golfo de Guayaquil, y en la mayor parte del noreste entre los ríos Mataje y Cayapas (Cornejo 2014). De acuerdo con Cornejo (2014) las especies de mangle dominantes en estas zonas son *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. x harrisonii*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*.

La primera descripción de HML en el país fue realizada por Kohlmeyer and Volkmann-Kohlmeyer (1987a) en las Islas Galápagos en Santa Cruz y Genovesa, donde se describen 10 especies. A partir de esta fecha no se realizaron investigaciones en este campo en ningún otro lugar de las islas ni para el Ecuador continental. Posteriormente, después de 23 años, Panchana (2008) en su trabajo reporta a *Phialophora litoralis* y cinco géneros en el manglar de Palmar en la Provincia de Santa Elena, investigación que fue ampliada por Álvarez (2011) describiendo un género y siete especies en la misma zona. Más tarde, un trabajo realizado en un área de la Reserva Ecológica Manglares Churute determinó la presencia de 12 especies de HML (Álvarez et al. 2019).

Todas las investigaciones anteriormente mencionadas se enfocaron en la descripción de taxas creciendo sobre fragmentos de mangle y madera en descomposición, por lo que los datos ecológicos acerca de la frecuencia de ocurrencia, estacionalidad, distribución vertical, especificidad

Tabla 1. Hongos marinos lignícolas reportados para el Ecuador

| Clasificación | Sustrato | Lugar de colecta | Referencia |
|---|---|--|--|
| Ascomycota | | | |
| <i>Aigialus mangrovei</i> Borse, 1987 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Aniptodera mangrovei</i> K.D. Hyde, 1986 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Arenariomyces trifurcatus</i> | Madera intermareal sumergida | Isla Genovesa, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Corrollospora maritima</i> | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Álvarez (2011) |
| <i>Dactylospora haliotrepha</i> (Kohlm. & E. Kohlm.) Hafellner, 1979 | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Álvarez (2011) |
| <i>Halosphaeria quadricornuta</i> Cribb & J.W. Cribb, 1956 | Madera intermareal sumergida | Isla Genovesa, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Helicascus kanaloanus</i> Kohlm., 1969 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Leptosphaeria</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Panchana (2008) |
| <i>Leptosphaeria australiensis</i> (Cribb & J.W. Cribb) G.C. Hughes, 1969 | Madera intermareal sumergida | Isla Genovesa, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Lignicola tropica</i> Kohlmeyer, 1984 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Lignicola</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Panchana (2008) |
| * <i>Lineolata rhizophorae</i> (Kohlm. & E. Kohlm.) Kohlm. & Volkm.- | Madera intermareal sumergida | Isla Genovesa, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Sammeyersia grandispora</i> S.Y. Guo, E.B.G. Jones, & K.L. Pang | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Álvarez (2011) |
| <i>Lulworthia</i> sp. | Madera intermareal sumergida y raíces adventicias de <i>R. mangle</i> | Isla Genovesa y Santa Cruz, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Massarina thalassiae</i> Kohlm. & Volkm.-Kohlm., 1987 | Madera intermareal sumergida | Isla Genovesa, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| <i>Neptunella longirostris</i> (Cribb & J.W. Cribb) K.L. Pang & E.B.G. | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Payosphaeria</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Panchana (2008) |
| <i>Rhizophila</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Panchana (2008) |
| <i>Saccardoella</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Álvarez (2011) |
| <i>Tirispora</i> sp. | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena | Panchana (2008) |
| <i>Torpedospora radiata</i> Meyers, 1957 | Raíces adventicias de <i>R. mangle</i> | Isla Santa Cruz, Galápagos | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) |
| * <i>Verruculina enalia</i> | Madera intermareal, madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez et al. (2019) |

Continuación Tabla 1. Hongos marinos lignícolas reportados para el Ecuador

| Clasificación | Sustrato | Lugar de colecta | Referencia |
|--|--------------------------------------|--|--|
| Hongos anamorfos | | | |
| <i>Cirrenalia tropicalis</i> Kohlm., 1968 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>C. pygmaea</i> Kohlm., 1966 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Periconia prolifica</i> | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019) |
| <i>Trichocladium achrasporum</i> | Madera intermareal, madera de mangle | Isla Genovesa, Galápagos; Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019) |
| * <i>T. alopallonellum</i> (Meyers & R.T. Moore) & Volkm.-Kohlm., 1995 | Madera intermareal, madera de mangle | Isla Genovesa, Galápagos; Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena. | Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987); Álvarez (2011) |
| <i>T. nypae</i> K.D. Hyde & Goh, 1999 | Madera de mangle | Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez et al. (2019) |
| <i>Zalerium maritimum</i> | Madera de mangle | Manglar de Palmar, Provincia de Santa Elena; Reserva Ecológica Manglares Churute | Álvarez (2011); Álvarez et al. (2019) |

*Estas especies fueron descritas por Kohlmeyer & Volkmann-Kohlmeyer (1987) con nombres que pasaron a ser sinónimos según Jones et al. (2009). *L. rhizophorae* fue descrita como *Didymosphaeria rhizophorae*, *V. enalia* con el nombre de *Didymosphaeria enalia* y *T. alopallonellum* como *Humicola alopallonella*

al sustrato, influencia de la salinidad y temperatura, así como su biodiversidad no han sido realizados. En la tabla 1 se mencionan los géneros y especies de hongos marinos lignícolas descritos hasta la fecha en Ecuador, así como también su lugar de colecta y el sustrato de donde fue aislado. *Halocyphina villosa* ha sido observado creciendo sobre madera de mangle en descomposición (obs. pers.) por tanto, un trabajo que lo reporte formalmente para el país es necesario. Por otro lado, el hongo *Arenariomyces trifurcatus* es una especie arenícola (se desarrolla sobre los granos de arena en las zonas de playa), su presencia está asociada a la cercanía de estos ecosistemas costeros a los bosques de manglar. La degradación de la madera de mangle realizada por HML está restringida a las capas externas, por lo que su actividad genera un pre acondicionamiento del sustrato para que larvas de la familia Teridinidae se fijen a éste (Kohlmeyer, Bebout y Volkmann-Kohlmeyer 1995). Los Teridinidae son organismos que han sido extensamente estudiados en las zonas estuarinas y costeras del Ecuador (Cruz 1986, 1992; Cruz, Torres y Villamar 1989; Arias 2012), es por

esto que investigaciones que abarquen la actividad sinérgica en la descomposición del material lignificado mediada por estos moluscos y HML en bosques de manglar son imprescindibles para entender el funcionamiento del sistema. De igual forma, teredos y HML causan daños en estructuras de madera ubicadas en zonas portuarias (Cruz 1986; Kohlmeyer y Kohlmeyer 1979), estableciendo otro tópico que necesita ser estudiado en el país.

La importancia de hongos microscópicos en la alimentación de organismos marinos se encuentra restringida a unas pocas especies (Kohlmeyer y Bebout 1986); es así como el papel de fuente nutricional y ayudante digestivo (liberación de enzimas degradadoras de celulosa) en gasterópodos y demás organismos en zonas manglicolas debe ser revisado. Este tema fue estudiado por Kohlmeyer and Bebout (1986), reportando la importancia de estos microorganismos como alimento para el molusco *Littorina angulifera* típico de manglares del Atlántico.

Por otro lado, los HML poseen importantes aplicaciones dentro del campo biotecnológico en distintas áreas. El hongo *Verruculina enalia* produce dos compuestos fenólicos denominados Enalin A (1) y B (2) que pueden ser empleados como antidiabéticos, antifúngicos, antimicrobianos y fitotóxicos; de igual forma *Aigialus parvus* exhibe actividad antitumoral y antimalárica al producir dos policétidos hipotemicina y aigialomicina (Lin et al. 2002; Vongvilai et al. 2004). Los ascomicetos *Corrollospora maritima* y *V. enalia* y los hongos mitospóricos *Periconia prolifica*, *Trichocladium achrasporum* y *Zalerion maritimum* han demostrado la capacidad de desarrollarse en un medio elaborado con agua de mar y suplementado con hexadecano como única fuente de carbono (Kirk y Gordon 1988).

Las enzimas lignocelulolíticas son importantes en la degradación de la lignina y frecuentemente empleadas en procesos que implican la biorremediación de polutantes in vitro. Sarma (2018) realizó una investigación sobre las principales enzimas de hongos marinos, reportando la presencia de hemicelulasas, lacasas y celulasas para la mayor parte de HML, lo que los posiciona como candidatos a ser empleados en procesos que impliquen la remediación con microorganismos. Una de las principales características de los hongos es la producción de antimicrobianos, es así como Zainuddin et al. (2010) describe actividad de este tipo contra las bacterias patógenas *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Staphylococcus aureus* por el hongo *V. enalia*. Todas las especies anteriormente nombradas a excepción de *A. parvus* se han reportado para el Ecuador.

CONCLUSIÓN

Tan solo el 10 % de los HML han sido reportados para los manglares del país, a pesar de su importancia dentro de los procesos de formación de detritos, por lo que obtener datos relacionados a su ecología y generar registros sobre su diversidad en estos ecosistemas para contribuir al conocimiento de la microbiota es de suma importancia. Además, cuantificar la abundancia de estos microorganismos en los bosques de manglar es de carácter imperativo, así como también la obtención de cultivos monospóricos a través del uso de técnicas de cultivo, enfocados a la conservación de estos organismos ex situ y al establecimiento de estudios a nivel genético, molecular, bioquímico y a futuras aplicaciones que podrían aportar al desarrollo del Ecuador dentro del campo biotecnológico.

AGRADECIMIENTOS

A Paulina Sepa por sus acertados comentarios que ayudaron a la correcta redacción del documento, al PhD. Xavier Álvarez por introducirme en el campo de la micología marina y a Dayanna Almedia por las microfotografías mostradas en la figura 1.

REFERENCIAS

Aleem AA. 1980. Distribution and ecology of marine fungi in Sierra Leone (Tropical West Africa). *Botanica Marina* 23: 679-688.

Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M. 1996. *Introductory mycology*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons.

Alias SA, Jones EG. 2000a. Colonization of mangrove wood by marine fungi at Kuala Selangor mangrove stand, Malaysia. *Fungal Diversity*, 5, 9-21.

Alias SA, Jones EG. 2000b. Vertical distribution of marine fungi on *Rhizophora apiculata* at Morib mangrove, Selangor, Malaysia. *Mycoscience*, 41(5), 431.

Alias SA, Zainuddin N, Jones EG. 2010. Biodiversity of marine fungi in Malaysian mangroves. *Botanica Marina*, 53(6), 545-554.

Álvarez X. 2011. Aislamiento e identificación de hongos marinos del manglar de Palmar Provincia de Santa Elena, y establecimiento del banco de cepas fúngicas (Tesis de Maestría). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Álvarez X, Tamayo R, Almeida D, Robles S, y Moscoso A. 2019. Ascomicetos marinos manglicolas de la reserva ecológica manglares churute. *Manglares de América*, 68-77.

Ananda K, Sridhar KR. 2004. Diversity of filamentous fungi on decomposing leaf and woody litter of mangrove forests in the southwest coast of India. *Current science*, 1431-1437.

Arias Cedeño E. 2012. Estado actual de la diversidad de moluscos bivalvos perforadores de madera en la Puntilla de Santa Elena (Salinas). Tesis para optar el grado de Bióloga. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Awaluddin HH, Nor NAM, Nor HM, Sharuddin SS, Pang KL, Mohamad-Fauzi et al. (2015). Biodiversity of marine lignicolous fungi from

- mangroves of Sulu Sea. *MJS*, 34(1), 43-57.
- Borse BD 1988. Frequency of occurrence of marine fungi from Maharashtra coast, India. *Indian Journal of Marine Sciences* 17: 165-167.
- Cornejo X. 2014. Plants of the South American Pacific Mangrove Swamps (Colombia, Ecuador, Perú) Editorial Eduquil. Universidad de Guayaquil.
- Cribb AB, Cribb W 1955. Marine fungi from Queensland-I. University of Queensland Papers, Department of Botany 3: 77-81.
- Cruz M. 1986. Efectos de los moluscos incrustantes en maderas no tratadas en los puertos de Esmeraldas, Manta, Salinas, Posorja y base naval. (Ecuador). *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR—Ecuador, 3, 1J.
- Cruz M, Torres G y Villamar F. 1989. Estudio Comparativo de los moluscos Bivalvos Perforadores de las Maderas más resistentes (Laurel, Moral, Palo de vaca) y la más “Atacada” (Mangle) en la Costa Ecuatoriana., *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR. 5 (1): 49-55.
- Cruz M. 1992. Moluscos incrustantes de maderas en el mar ecuatoriano. *Acta oceanográfica del Pacífico*, 7(1), 69-80.
- Dayarathne MC, Jones EG, Maharachchikumbura SN, Devadatha B, Sarma VV, Khongphinitbunjong K., ..., Hyde KD. 2020. Morpho-molecular characterization of microfungi associated with marine based habitats. *Mycosphere*, 11(1), 1-188.
- Hamilton SE and Friess DA. 2018. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nat. Clim. Chang* 8(3):240–244.
- Hyde KD. 1986. Frequency of occurrence of lignicolous marine fungi in the tropics. In: *The Biology of Marine Fungi* (ed. S.T. Moss). Cambridge University Press, Cambridge, UK: 311-322.
- Hyde KD. and Jones EG. 1988. Marine mangrove fungi. *Marine Ecology*, 9(1), 15-33.
- Hyde KD. 1988a. Observations on the vertical distribution of marine fungi on *Rhizophora* spp. at Kg. Danau mangrove, Brunei. *Asian Marine Biology* 5: 77-81.
- Hyde KD. 1988b. Studies on the tropical marine fungi of Brunei. *Botanical Journal of the Linnean Society* 98: 135-151.
- Hyde KD. 1989. Ecology of tropical marine fungi. *Hydrobiologia* 178: 199-208.
- Hyde KD, Jones EG. 1989. Marine fungi from Seychelles VIII. *Rhizophila marina*, a new ascomycete from mangrove prop roots. *Mycotaxon* 34: 527-533.
- Hyde KD. 1990. A comparison of the intertidal mycota of five mangrove tree species. *Asian Marine Biology* 7: 93-107.
- Hyde KD. 1992a. Intertidal mangrove fungi from the West Coast of Mexico, including one new genus and two new species. *Mycological Research* 96: 25-30.
- Hyde KD. 1992b. The effect of incubation on the occurrence of marine fungi on randomly collected lignocellulose samples. *Sydowia*, 44, 131-136.
- Hyde KD, Chalermpongse A., Boonthavikoon T. (1993). The distribution of intertidal fungi on *Rhizophora apiculata*. In: *The Marine Biology of the South China Sea. Proceedings of the First International Conference on the Marine Biology of Hong Kong and South China Sea, Hong Kong 1990* (ed. B. Morton), University of Hong Kong Press, Hong Kong: 643-652.
- Hyde KD, Lee SY. 1995. Ecology of mangrove fungi and their role in nutrient cycling: what gaps occur in our knowledge? *Hydrobiologia*, 295(1-3), 107-118.
- Hyde KD, Jones EG, Leño E, Pointing SB, Poonyth AD, Vrijmoed LL. 1998. Role of fungi in marine ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1147-1161.
- Hyde KD, Sarma VV, Jones BG. 2000. Morphology and taxonomy of higher marine fungi. In *Marine mycology: a practical approach*, 172-204.
- Hyde KD, Jones EG, Liu JK, Ariyawansa H, Boehm E, Boonmee S, Braun U, Chomnunti P, Crous W, Dong-Qin Dai et al. 2013. Families of dothideomycetes. *Fungal diversity*, 63(1), 1-313.
- Johnson TW, Sparrow FL. 1961. Fungi in oceans and estuaries, J. Cramer, New York.

- Jones EG, Uyenco FK, Follosco MP. 1988. Fungi on driftwood collected in the intertidal zone from the Philippines. *Asian Marine Biology* 5: 103-106.
- Jones EG, Hyde KD. 1990. Observations on poorly known mangrove fungi and a nomenclature correction. *Mycotaxon* 37: 197-201.
- Jones EG. 2000. Marine fungi: some factors influencing biodiversity. *Fungal Diversity*, 4(193), 53-73.
- Jones EG, Pilantanapak A, Chatmala I, Sakayaroj J, Phongpaichit S and Choeyklin R. 2006. Thai marine fungal diversity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 28, 687-708.
- Jones EG, Sakayaroj J, Suetrong S, Somrithipol S, Pang KL. 2009. Classification of marine Ascomycota, anamorphic taxa and Basidiomycota. *Fungal Diversity*, 35(1), 187.
- Jones EG. 2011. Are there more marine fungi to be described? *Botanica Marina*, 54(4), 343-354.
- Jones EG, and Pang KL. (Eds.) 2012. Marine fungi: and fungal-like organisms. Walter de Gruyter.
- Jones EG, Hyde KD, Pang KL, Suetrong S. 2012. Phylogeny of the Dothideomycetes and other classes of marine Ascomycota. Marine fungi and fungal-like organisms. De Gruyter, Berlin, 17-34
- Jones EG, Suetrong S, Sakayaroj J, Bahkali AH, Abdel-Wahab MA, Boekhout T, Pang KL. 2015. Classification of marine ascomycota, basidiomycota, blastocladiomycota and chytridiomycota. *Fungal Diversity*, 73(1), 1-72.
- Kirk PW, Gordon AS. 1988. Hydrocarbon degradation by filamentous marine higher fungi. *Mycologia*, 80(6), 776-782.
- Kohlmeyer J. 1966. Neue Meerespilze on Mangroven. *Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft* 79: 27-37.
- Kohlmeyer J. 1969a. Marine fungi from Hawaii including a new genus *Helicascus*. *Canadian Journal of Botany* 47: 1469-1487.
- Kohlmeyer J. 1969b. Ecological notes on fungi in mangrove forests. *Transactions of the British Mycological Society* 53: 237-250
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. 1971. Marine fungi from tropical America and Africa. *Mycologia* 63: 831-861.
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. 1977. Bermuda marine fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 68: 207-219.
- Kohlmeyer J, Kohlmeyer E. (Eds.). 1979. Marine Mycology. The Higher Fungi. New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Kohlmeyer J. 1980. Tropical and subtropical filamentous fungi of the western Atlantic Ocean. *Botanica Marina* 23: 529-540.
- Kohlmeyer J. 1981. Marine fungi from Martinique. *Canadian Journal of Botany* 59: 1314-1321.
- Kohlmeyer J. 1984. Tropical mangrove fungi. *PSZNI Marine Ecology* 5: 329-378.
- Kohlmeyer J, Bebout B. 1986. On the occurrence of marine fungi in the diet of *Littorina angulifera* and observations on the behavior of the periwinkle. *Marine Ecology*, 7(4), 333-343.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1987a. Marine fungi from Aldabra, the Galapagos, and other tropical islands. *Canadian Journal of Botany* 65: 571-582.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1987b. Marine fungi from Belize with a description of two new genera of ascomycetes. *Botanica Marina* 30: 195-204.
- Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B. 1988. *Ophiodeira* gen. nov. (Halosphaeriales) and a survey of higher marine fungi from Saint Croix (Virgin Islands). *Canadian Journal of Botany* 66: 2062-2067.
- Kohlmeyer J and Volkmann-Kohlmeyer B. 1993. Biogeographic observations on Pacific marine fungi. *Mycologia* 85: 337-346.
- Kohlmeyer J, Bebout B, Volkmann-Kohlmeyer B. 1995. Decomposition of mangrove wood by marine fungi and teredinids in Belize. *Marine Ecology*, 16(1), 27-39.
- Leong WF, Tan TK, Jones EG. (1988). Lignicolous marine fungi of Singapore. *Canadian Journal of Botany* 66: 2167-2170

- Lin Y., Wu X., Deng Z., Wang J., Zhou S., Vrijmoed LP., Jones EG. 2002. The metabolites of the mangrove fungus *Verruculina enalia* No. 2606 from a salt lake in the Bahamas. *Phytochemistry*, 59(4), 469-471.
- Lugo AE, Snedaker SC 1974. The ecology of mangroves. *Annu Rev Ecol Syst* 5:39–64
- Maria GL, Sridhar KR, Bärlocher F. 2006. Decomposition of dead twigs of *Avicennia officinalis* and *Rhizophora mucronata* in a mangrove in southwestern India. *Botanica marina*, 49(5/6), 450-455.
- Maharachchikumbura SS, Hyde KD, Jones EG, McKenzie EH, Bhat JD, Dayarathne MC, Huang SK, Norphanphoun C, Indunil C et al. 2016. Families of sordariomycetes. *Fungal Diversity*, 79(1), 1-317.
- Meyers SP 1968. Observations on the physiological ecology of marine fungi. *Bull Misaki Mar Biol Inst Kyoto*, 12, 207-225.
- Mehdi FS, Saifullah SM. 2000. Species diversity and seasonal occurrence of fungi on seedlings of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(2), 265-268.
- Molina FJ, Hughes GC. 1982. The growth of *Zalerion maritimum* (Linder) Anastasiou in response to variation in salinity and temperature. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 61: 147-156.
- Nambiar GR, Raveendran K. 2009a. Manglicolous marine fungi of Kerala, South India. *Botany Research International*, 2(3), 206-210.
- Nambiar GR, Raveendran K. 2009b. Manglicolous marine fungi on *Avicennia* and *Rhizophora* along Kerala coast (India). *Middle East J Sci Res*, 4, 48-51.
- Wong KM, Goh TK, Hodgkiss J, Hyde KD, Ranghoo VM, Tsui KC, Ho WH, Wong SW Yuen TK. 1998. Role of fungi in freshwater ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1187-1206
- Odum EP. 1971. *Fundamentals of mycology*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA
- Odum WE, Heald EJ. 1972. Trophic analyses of an estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science*, 22(3), 671-738.
- Pang KL, Alias SA, Chiang MWL, Vrijmoed LLP, Jones EG 2010. *Sedecimiella taiwanensis* gen. et sp. nov., a marine mangrove fungus in the Hypocreales (Hypocreomycetidae, Ascomycota). *Bot Mar*; 53:493 – 498.
- Pang K.L, Jheng JS, Jones EG. 2011. Marine mangrove fungi of Taiwan. Keelung, Taiwan: National Taiwan Ocean University.
- Pang KL. 2012. Phylogeny of the marine Sordariomycetes. In *Marine fungi and fungal-like organisms*. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/Boston, 35-47.
- Pang KL, Overy DP, Jones EG, da Luz Calado, M Burgaud, G, Walker AK et al. 2016. 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: toward a new consensual definition. *Fungal Biology Reviews*, 30(4), 163-175.
- Panchana Tircio, H. E. 2009. Identificación de hongos marinos en el manglar de Palmar, provincia de Santa Elena—Ecuador (Tesis de Licenciatura, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena).
- Pointing SB, Vrijmoed LP, Jones EBG. 1998. A qualitative assessment of lignocellulose degrading enzyme activity in marine fungi. *Botanica Marina*, 41(1-6), 293-298.
- Pointing BS, Buswell JA, Jones EG, Vrijmoed LP. 1999. Extracellular cellulolytic enzyme profiles of five lignicolous mangrove fungi. *Mycological Research* 103: 690-700.
- Raghukumar, S., Sharma, S., Raghukumar, C., Sathe-Pathak, V., & Chandramohan, D. 1994. Thraustochytrid and fungal component of marine detritus. IV. Laboratory studies on decomposition of leaves of the mangrove *Rhizophora apiculata* Blume. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 183(1), 113-131.
- Robertson AI., Dixon P, Daniel PA, Zagorskis, I. 2020. Primary production in forests of the mangrove palm *Nypa fruticans*. *Aquatic Botany*, 167, 103288.
- Sarma VV. 2012. Diversity and distribution of marine fungi on *Rhizophora* spp. in mangroves. In *Biology of Marine Fungi* (pp. 243-275). Springer, Berlin, Heidelberg.

Sarma VV. 2018. Obligate marine fungi and bioremediation. In *Mycoremediation and environmental sustainability* (pp. 307-323). Springer, Cham.

Sarma VV, Hyde KD. 2001. A review on frequently occurring fungi in mangroves. *Fungal Divers*, 8, 1-34.

Samón-Legrá E, Lavandera ED, González MC. 2014. Frequency of Occurrence of Marine Fungi in Mangrove Forests of Zapata Swamp Biosphere Reserve (South of Cuba). *Global Journal of Environmental Research* 8 (1): 11-16.

Sarma VV, Vittal PR. 2000. Biodiversity of mangrove fungi on different substrata of *Rhizophora apiculata* and *Avicennia spp.* from Godavari and Krishna deltas, east coast of India. *Fungal Diversity*, 5, 23-41.

Schmidt JP, Shearer CL. 2003. A checklist of mangrove-associated fungi, their geographical distribution and known host plants. *Mycotaxon* 85:423-477

Suetrong S, Schoch LC, Spatofora W, Kohlmeyer J, Volkmann-Kohlmeyer B, Sakayaroj J, Phongpaichit S, Tanaka K, Hirayama K, Jones EG. 2009. Molecular systematics of the marine Dothideomycetes. *Studies in Mycology*, 64, 155-173

Sridhar KR, Mangalagangotri M. 2009. Fungal diversity of Pichavaram mangroves, Southeast coast of India. *Nature and Science*, 7(5).

Torzili AP. 1997. Tolerance to high temperature and salt stress by a salt marsh isolate of *Aureobasidium pullulans*. *Mycologia* 89: 786-792.

Vittal PR and Sarma VV. 2006. Diversity and ecology of fungi on mangroves of Bay of Bengal region-An overview. *Indian Journal of Marine Species*, 35 (4), 308-317

Vongvilai P, Isaka M, Kittakoop P, Srikitikulchai P, Kongsaree P and Thebtaranonth, Y. 2004. Ketene Acetal and Spiroacetal Constituents of the Marine Fungus *Aigialus parvus* BCC 5311. *Journal of natural products*, 67(3), 457-460.

Zainuddin N, Alias SA, Lee CW, Ebel R, Othman NA, Mukhtar MR, Awang K. 2010. Antimicrobial activities of marine fungi from *Malaysia*. *Botanica Marina*, 53(6), 507-513