

COMUNIDAD FÚNGICA ASOCIADA AL HUMEDAL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE TACARIGUA (SITIO RAMSAR) VENEZUELA

Fungal community associated with the Laguna de Tacarigua National Park wetland (Ramsar Site) Venezuela

Nora Malaver*, María Rodríguez y Nathalie Capitillo

Laboratorio de Ecología de Microorganismos. Centro de Ecología Aplicada.
Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Universidad Central de Venezuela.
Caracas. *nora.malaver@gmail.com.

RESUMEN

El conocimiento sobre la comunidad fúngica del Parque Nacional Laguna de Tacarigua es escaso. Las investigaciones presentadas, incluyen aspectos ecológicos relacionados con: diversidad, distribución espacial y temporal, estructura funcional de la comunidad fúngica y tasa de descomposición *in vitro* de *Rhizophora mangle*. Los aislados fúngicos a través de técnicas morfo taxonómicas clásicas, se identificaron 40 especies, 16 géneros en dos Phyla: dos Zygomycota y 14 anamorfos de Ascomycota (11 filamentosos y tres levaduras). En los Zygomycota los géneros *Sincephalastrum* y *Mucor*; en Ascomycota filamentosos los géneros: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Paecilomyce*, *Fusarium*, *Pestalotia*, *Curvularia*, *Cytospora*, *Acremonium*, *Blastomices*, *Monoblepharidae* y dentro de los Ascomycota levaduriformes: *Candida*, *Trichosporon* y *Geotrichum*. Las variaciones en el régimen hídrico influyen en la distribución espacial y temporal de la comunidad fúngica. Se evidenciaron cambios en la estructura funcional de la comunidad estudiada. En el proceso sucesional durante la descomposición de la materia orgánica *in vitro*, el potencial bioquímico de las especies fúngicas se asociaron más a sustratos recalcitrante.

Palabras clave: comunidad fúngica, *Rhizophora mangle*, PNLT, descomposición.

Keywords: fungal community, *Rhizophora mangle*, PNLT, decomposition.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 60-70% de las costas tropicales y subtropicales del mundo están cubiertas de manglares, que son conocidos por ser ecosistemas altamente productivos de inmenso valor ecológico. Su alta productividad de materia orgánica está asociada a la biodegradación de biomasa vegetal, llevada a cabo por microorganismos, los cuales son responsable de un gran número de transformaciones dentro de los ecosistemas de manglar (Holguín y Bashan, 2007). En los manglares tropicales, bacterias y hongos constituyen 91% del total de la biomasa microbiana, mientras que las algas y protozoos representan sólo el 7% y 2%, respectivamente (Alongi, 1988). La comunidad microbiana juega un papel muy importante en la creación y el mantenimiento del ecosistema de manglar, participando en diferentes etapas de la descomposición y mineralización de la hojarasca.

Aunque el ecosistema de manglar es muy rico en diversidad microbiana, menos del 5% de las especies se han descrito y en muchos casos no se conoce el papel ecológico de la comunidad microbiana fúngica, la cual tiene una relevancia económica y ecológica, dada su actividad enzimática (proteolítica y celulítica), fundamental en el ciclaje de nutrientes y en la regulación del ecosistema. El conocimiento actual sobre la comunidad fúngica asociada al humedal Laguna de Tacarigua es muy escaso; éste trabajo abarca aspectos ecológicos tales como: la diversidad fúngica asociada a las raíces de *Rhizophora mangle* en diferentes sectores del humedal, los cambios espaciales y temporales y se incorpora el perfil fisiológico como un estimador de la estructura funcional de las comunidades fúngicas.

La determinación de patrones de uso de sustratos como indicador de la diversidad funcional ha sido ampliamente utilizada para clasificar o caracterizar especies aisladas de diferentes ambientes, o consorcios microbianos (Zak y col., 1994; Campbell y col., 1997). Además se incluyó el análisis del proceso sucesional de la comunidad fúngica durante la descomposición *in vitro* de hojas de *R. mangle*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La Laguna de Tacarigua es un humedal marino costero, ubicado en la costa oriental del estado Miranda-Venezuela, entre los 10°11'30" y 10°20'20" de latitud norte y entre los 65°41'10" y 65°57'20" de longitud oeste. Declarado Parque Nacional en 1974 y en 1996 humedal de importancia internacional por la convención RAMSAR. Abarca una superficie total de 39.100,00 ha, con una barra litoral que la separa del mar. En la Figura 1 se señalan los diferentes sectores de colecta de las muestras de *R. mangle*.



Figura 1. Laguna de Tacarigua. Ubicación de las estaciones de muestreo en las cinco lagunas internas. Caño Tuy, Túnel del Amor, Las Lapas, Club Miami y Manati.

Los ciclos naturales estacionales de sequía y lluvia, son determinantes en la dinámica ambiental de la laguna, la cual fluctúa desde una condición de poco volumen en época de sequía, a una de mayor volumen dependiente de la dinámica de apertura y cierre de la Boca. Los aportes pluviales y fluviales disminuyen durante la estación seca y la laguna se ve influenciada por el ambiente marino aumentando su salinidad, sin embargo durante la estación lluviosa, las precipitaciones y el incremento de los aportes fluviales de agua dulce de las cuencas del Río Chico-Guapo y del Cúpira, la harán menos salobre e incrementan el volumen de agua que drena hacia el mar, aportando sedimentos y nutrientes al sistema marino. Esta heterogeneidad del PNLT está referenciada por Okuda y Benítez (1985) y Conde (1996) cuando describen que hay un efecto de los viento alisios, el cual se opone a la entrada del tributario principal, lo que genera un gradiente horizontal de salinidad y nutrientes en la laguna.

Colecta de muestras. El cepario fúngico deriva de muestras de raíces y hojas de *R. mangle* colectadas en diferentes épocas y en distintos sectores de la laguna: Caño Tuy, Túnel del Amor, Las Lapas, Club Miami, Manatí y la Boca (Figura 1). Se utilizaron procedimientos estándares para la obtención de los diferentes aislados fúngicos, evaluados e identificados a través de técnicas morfo taxonómicas clásicas (Barnett y Hunter, 1998; Samson y col., 2014).

Determinación Perfil Fisiológico-Análisis Funcional. La evaluación de la utilización de diferentes fuentes de carbono por un microorganismo o consorcio de ellos es una metodología que permite establecer el perfil fisiológico de ensamblajes microbianos heterotróficos capaces de ser metabólicamente activos y cultivables (Stefanowicz, 2006; Zamora y col., 2012 ; 2019).

Se utilizaron diferentes pruebas bioquímicas para determinar el perfil fisiológico de cada una de las cepas fúngicas capaces de degradar la materia orgánica, y se incluyeron: compuestos carbonados como glucosa, lactosa, peptonas, almidón, producción de enzimas como ureasas, proteasas, nitrato y nitrito-reductasas, lipasas, sustratos carbonados complejos como: celulosa, lignina, quitina y pectina, y solubilización de fosfatos mediante el método indicado por Zamora y col. (2012). Los resultados se expresaron como la frecuencia de uso de sustratos en cada sitio y época de muestreo.

Descomposición *in vitro* de hojas de *Rhizophora mangle*. Para caracterizar la comunidad fúngica asociada al proceso de descomposición se realizó la incubación de 10 discos foliares en caldo malta y posteriormente, se hizo la identificación taxonómica de las cepas fúngicas encontradas, para luego caracterizarla bioquímicamente mediante la siembra de los aislados en diversos medios de cultivos que representan los potenciales sustratos asociados a la descomposición del material foliar, para determinar el potencial degradativo dentro del proceso sucesional (Capitillo, 2017).

Análisis estadístico. La caracterización funcional se hizo mediante análisis de agrupación simple o vecino más cercano, usando la distancia Euclidiana como medida de disimilitud entre grupos. La fundamentación metodológica e interpretación se describe en Zamora *y col.* (2012) y Malaver *y col.* (2014). A partir de los valores de frecuencia de utilización de cada sustrato se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el software CANOCO versión 4.56 (Braak y Smilauer, 1997), a fin de representar los patrones de actividad fisiológica de las comunidades fúngicas en las distintas zonas del muestreo en la laguna y durante las diferentes épocas del muestreo (Zamora *y col.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la diversidad encontrada en diferentes sectores de la Laguna de Tacarigua (Figura 1), constituyen uno de los primeros registros de hongos asociados a las raíces de *R. mangle* en este humedal marino costero. Sin embargo corresponden a hongos típicamente terrestres y cultivables en condiciones de laboratorio. Adicionalmente hay que tomar en cuenta que las técnicas de evaluación del sustrato tienen un papel significativo en la presencia de los hongos, en este caso los sustratos fueron raíces y hojas de árboles vivos, y troncos y material muerto de *R. mangle*.

Los aislados fúngicos evaluados se identificaron a través de técnicas morfo taxonómicas clásicas, obteniendo 40 especies, 16 géneros en dos Phyla: dos Zygomycota y 14 anomorfos de Ascomycota (11 filamentosos y tres levaduriformes). Los Zygomycota distribuidos en: *Sincephalastrum* y *Mucor*, los Ascomycota filamentosos repartidos en: *Aspergillus*, *Penicilium*, *Trichoderma*, *Paecilomyce*, *Fusarium*, *Pestalotia*, *Curvularia*, *Cytospora*, *Acremonium*, *Blastomices*, *Monoblepharidae*; los Ascomycota levaduriformes: *Candida*, *Trichosporon* y *Geotrichum*. Las especies, sustrato, sector y año de colecta se enuncian en la Tabla 1.

Esta diversidad fúngica encontrada en los bosques de manglar tropicales ha sido relacionada con las condiciones ecológicas del ecosistema, en las cuales incluyen factores tales como: el tipo de hospedero, la edad del manglar, diversidad de especies de mangle y de árboles terrestres cercanos, además de los diferentes microhábitats generados en el manglar, los cuales están definidos por las diferencias en la salinidad, el impacto de las mareas y los tipos de sustratos, entre otros (Thatoi *y col.*, 2012).

Los resultados muestran que existe una dominancia de hongos Ascomycetes asociados a *R. mangle* respecto a otros grupos taxonómicos. De acuerdo con Kohlmeyer y Kohlmeyer (1979), y Hyde y Sarma (2000), estos organismos tienen un conjunto de adaptaciones que le han permitido su sobrevivencia en este medio, de modo que pueden haber evolucionado hasta alcanzar ventajas competitivas en estos ecosistemas, gracias a sus estructuras

fructíferas microscópicas, ascosporas con ornamentaciones que favorecen su dispersión y posterior unión a sustratos y a su habilidad para resistir condiciones de salinidad fluctuantes (Sosa-Rodríguez *y col.*, 2009).

La especie *Cytospora rhizophorae* ha sido detectada sobre troncos y raíces en arboles vivos o caídos, en los sectores de la laguna (Manatí, Caño El Mono, Caño Pirital, Túnel del Amor, Caño San Ignacio y Las Lapas) (Tabla 1); este es un hongo patógeno que puede causar la muerte regresiva del mangle, la cual es de origen marino que fue descrita por Kohlmeyer y Kohlmeyer (1971). Los cuerpos fructíferos son de color amarillo anaranjado, dando la apariencia de hilos, esta especie está adaptada a las altas temperaturas y concentraciones elevadas de salinidad (Perdomo *y col.*, 2018). Para infectar el huésped requiere de heridas, las cuales pueden ser de origen biótico (herbívoros, macro invertebrados) o por acción física (tormentas, corte por actividades antrópicas relacionadas con poda y despeje).

La distribución espacio-temporal de las especies de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*, los cuales mostraron mayor diversidad de especies (Tabla 2), en los sectores Caño Tuy, Túnel del Amor, Club Miami, Manatí y las Lapas, durante el período 2001-2002 en las temporadas de lluvia, transición y sequía. La diversidad de las especies de estos dos géneros varía espacial y temporalmente, donde factores climáticos influyen en la estructura de la comunidad fúngica, registrando una mayor diversidad en el periodo de entrada de lluvias (Tabla 2). Al respecto, Samaritani *y col.* (2017) concluyeron en sistemas inundables, que la estacionalidad afecta la disponibilidad de carbono, las variables fisicoquímicas y el contenido de nutrientes en consecuencia es heterogéneo, y por tanto la estructura comunitaria varía espacio-temporalmente.

Sosa-Rodríguez *y col.* (2009) plantearon que variaciones en la diversidad fúngica se deban a posibles adaptaciones al impacto prolongado y continuo de las condiciones típicas a las que está sometido el ecosistema. Tal es el caso que aplica en el humedal de la laguna de Tacarigua, donde durante el periodo de lluvias se genera un alto flujo de agua dulce que disminuye la salinidad (Malaver *y col.*, 2014). Después del período de lluvias, la salinidad incrementa progresivamente, siendo en esta transición las condiciones favorables para que los hongos de agua dulce colonicen los sustratos del manglar, causando un predominio de estos hongos de origen terrestre al menos durante los periodos de transición (seis meses del año), en donde la comunidad fúngica participa en la degradación de la hojarasca. Esto se visualiza representado en la distribución de las especies de *Penicillium* y *Aspergillus* (Tabla 2). Lo que se espera es que durante la época de sequía, la salinidad incrementa debido a que el mayor aporte de agua proviene del mar, por lo que se observará una disminución de la diversidad de hongos terrígenos y una mayor actividad de hongos marinos sobre el detritus (Sosa-Rodríguez *y col.*, 2009). Es importante considerar que la conectividad hidrológica puede proporcionar una vía importante para la dispersión microbiana (Hullar *y col.*, 2006; Argiroff *y col.*, 2017).

Tabla 1. Lista de cepas fúngicas colectadas en los sectores Club Miami, Túnel del Amor, Manatí, Caño Tuy, Las Lapas, Caño El Mono, Caño Pirital, Caño San Ignacio y la Boca de la Laguna de Tacarigua.

Género y Especie	Sustrato <i>R. mangle</i>	Sector	Año
<i>Aspergillus candidus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. ydowii</i> , <i>A. tamarii</i> , <i>A. ustus</i> , <i>A. flavus</i> .	Raíces	Club Miami, Túnel del Amor, Manatí, Caño Tuy, Las Lapas	2001 2002
<i>A. clavato-nanicus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. nidulans</i>			
<i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. decumbens</i> , <i>P. digitatum</i> , <i>P. commune</i> , <i>P. brefeldianum</i> , <i>P. cyaneum</i> , <i>P. frequentans</i> , <i>P. nigricans</i> , <i>P. thormii</i> , <i>P. purpurogenum</i> , <i>P. stoloniferum</i> , <i>P. vermiculatum</i> , <i>P. glabrum</i> , <i>P. chrysogenum</i>	Raíces	La Boca, Túnel del Amor, Las Lapas, Manatí, Club Miami, Caño Tuy	2001 2002 2016
<i>Trichoderma viride</i> , <i>T. longibrachiatum</i>	Raíces y hojas	La Boca, Club Miami, Manatí, Caño Tuy, Club Miami	2001 2002 2016
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	Raíces	Manatí	2001
<i>Fusarium</i> sp.	Raíces	Caño Tuy, Túnel del Amor, Club Miami	2001
<i>Candida guilliermondii</i> <i>Geotrichum candidum</i> <i>Trichosporon capitatum</i> , <i>T. pullulans</i>	Hojas	La Boca	2016
<i>Cytospora rizophorae</i>	Raíces y troncos de árboles vivos y/o caídos	Manatí, Caño El Mono, Caño Tuy, Caño Pirital, Túnel del Amor, Caño San Ignacio, Las Lapas, Manatí	2001 2002 2009 2010 2013
<i>Pestalotia</i> sp.	Raíces	Túnel del Amor, Las Lapas, Caño Tuy, Club Miami	2001 2002
<i>Acremonium</i> sp.	Raíces	Club Miami, Túnel del Amor	2002
<i>Sincephalastrum</i> sp.	Raíces	Club Miami, Manatí	2001 2002
<i>Blastomices</i> sp. <i>Monoblepharidae</i> sp.	Raíces	Las Lapas	2001
<i>Curvularia</i> sp. <i>Mucor</i> sp.	Raíces	Club Miami	2002

La contribución de los diferentes microorganismos a las funciones ecosistémicas no son equitativas, y grupos particulares pueden ser más sensibles a las condiciones fisicoquímicas y biológicas del medio. Utilizando como una herramienta el análisis funcional a partir del dendrograma para determinar la estructura funcional de las comunidades fúngicas y los cambios espacio temporales que suceden por influencia de variables intrínsecas o externas del sistema lagunar, en las Figuras 2A y 2B, se pueden discriminar los diferentes grupos funcionales (GF) que se forman y la distancia a la cual se separan. Cada cepa individual que difiere de las demás representa un GF distinto dentro de la comunidad, permitiendo establecer relaciones de disimilitud entre los grupos componentes de la comunidad.

Tabla 2. Distribución de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus* en los sectores Caño Tuy, Túnel del Amor, Club Miami, Manatí y las Lapas, en épocas de lluvia, transición y sequía.

GÉNERO <i>Penicillium</i>					
Especie	Caño Tuy	Túnel del Amor	Club Miami	Manatí	Las Lapas
<i>brefeldianum</i>	■	■	■	■	■
<i>cyaneum</i>	■	■	■	■	■
<i>frequentans</i>	■	■	■	■	■
<i>nigricans</i>	■	■	■	■	■
<i>purpurogenum</i>	■	■	■	■	■
<i>stoloniferum</i>	■	■	■	■	■
<i>thornii</i>	■	■	■	■	■
<i>vermiculatum</i>	■	■	■	■	■
<i>glabrum</i>	■	■	■	■	■
<i>chrysogenum</i>	■	■	■	■	■
<i>citrinum</i>	■	■	■	■	■
<i>decumbens</i>	■	■	■	■	■
<i>digitatum</i>	■	■	■	■	■
<i>commune</i>	■	■	■	■	■

GÉNERO <i>Aspergillus</i>					
Especie	Caño Tuy	Túnel del Amor	Club Miami	Manatí	Las Lapas
<i>candidus</i>	■	■	■	■	■
<i>clavato-nanicus</i>	■	■	■	■	■
<i>flavus</i>	■	■	■	■	■
<i>fumigatus</i>	■	■	■	■	■
<i>nidulans</i>	■	■	■	■	■
<i>niger</i>	■	■	■	■	■
<i>tamarii</i>	■	■	■	■	■
<i>terreus</i>	■	■	■	■	■
<i>ustus</i>	■	■	■	■	■
<i>ydwii</i>	■	■	■	■	■

Leyenda: lluvia: negro Transición: gris oscuro Sequía: gris claro

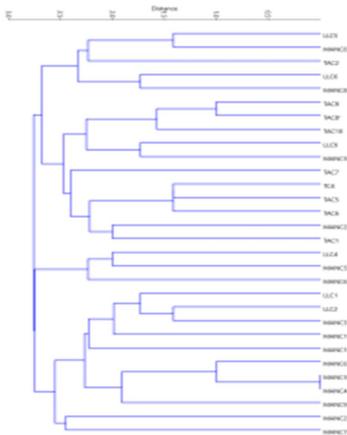


Fig 2a Cluster muestreo año 2001, sectores LL (Las Lapas), TA (Túnel del Amor), Man (Manatí)

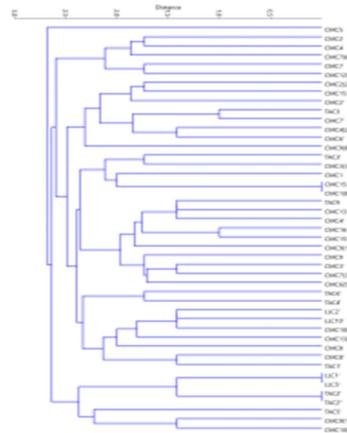


Fig 2b Cluster muestreo año 2002, sectores: LL (Las Lapas), TA (Túnel del Amor), Man (Manatí)

Figura 2. (a) Cluster muestreo año 2001. (b) Cluster muestreo año 2002. Sectores: LL (Las Lapas), TA (Túnel del Amor), Man (Manatí).

Un Grupo de Identidad Funcional (GIF) es equivalente a un GF formado por dos o más cepas que realizan igual función en la comunidad, esto significa que la distancia entre ellas es cero y podremos considerarlas como superpuestas y funcionalmente idénticas respecto a los sustratos probados. Cuando hay más de una especie con un papel ecológico similar en un sistema, se consideran funcionalmente redundantes, y pueden desempeñar un papel importante en garantizar la estabilidad del ecosistema cuando algunas especies se pierden debido a cambios ambientales (Córdoba-Tapia y Zambrano, 2015). Adicionalmente, los valores de la distancia máxima de agrupamiento (DMA), constituyen un criterio útil cuando se pretende comparar la diversidad entre sitios diferentes, o cuando las condiciones cambian en el tiempo.

Finalmente, el cálculo de un Índice de Diversidad Funcional (IDF), permite cuantificar la diversidad de una comunidad desde el punto de vista de su actividad bioquímica degradativa (Zamora *y col.*, 2012; 2019). Peter *y col.* (2011) sugieren que existe un contexto-dependencia de funciones específicas de ciertas especies que tiene influencia directa en la redundancia multifuncional de la comunidad microbiana, como un efecto simultáneo de la biodiversidad en el ecosistema.

La Tabla 3 resume los resultados del dendrograma, mostrando una comunidad fúngica más diversa y con mayor número de GIF en el 2002, tomando en cuenta que la comunidad responde a los cambios a los cuales son enfrentadas, la expresión de grupos funcionalmente idénticos en diferentes épocas de muestreo indica patrones temporales que evidencian sucesión de la comunidad microbiana como respuesta a cambios en las variables fisicoquímicas y variaciones en la cantidad y disponibilidad de sustratos.

Tabla 3. Resumen Estructura Funcional.

Muestreo	GF	GIF	IDF	DMA
1ro -2001	29	1	0,93	2,5
2do - 2002	42	3	0,94	2,4

El análisis de componentes principales (Figura 3) aporta información relacionada con los patrones de actividad fisiológica de las comunidades fúngicas en los sectores Manatí (Man 1), (Man2), Las Lapas (LL1), (LL2), Túnel del Amor (TA1), (TA2) y Club Miami (CM1), (CM2), durante los muestreos 2001 y 2002 respectivamente. Se puede apreciar en la figura 3 que la mayoría de las variables se encuentran en los cuadrantes 1 y 4, siendo las actividades lipolítica (Tw), urea, fosfato (Fost) y peptonas (Pep) las que tienen mayores valores sobre el primer componente, respecto a los promedios de todas las variables. En cuanto a las localidades, CM2 tienen los mayores valores en la parte positiva del primer componente principal, esto indica que la comunidad fúngica en esta localidad mostró gran

potencial frente a los sustratos señalados, seguida por la localidad de Man1. Se puede apreciar dos grupos de variables que se encuentran relacionadas entre sí, y que son intermedio respecto al primer y segundo eje, tanto en la parte positiva como en la negativa del segundo eje. El primer grupo de variables lipidos (Tw), nitrato (Nit), lignina (Lig) y Fosf se encuentran en el primer cuadrante, y en el cuarto cuadrante están Inositol-fósforo inorgánico (Inos), pectina (Pect), quitina (Quit) y gelatina (Gel).

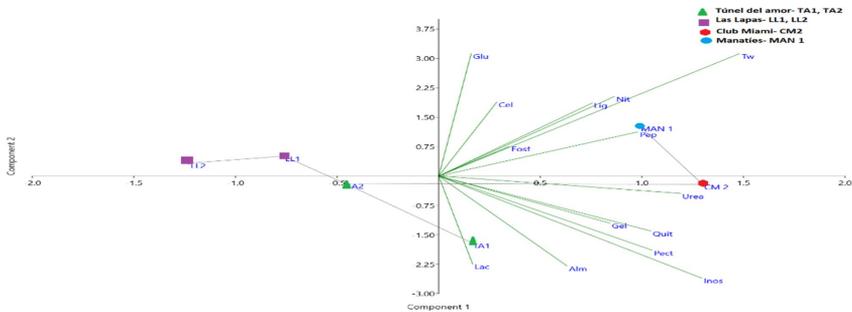


Figura 3. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) realizado para los sectores Las Lapas (LL), Club Miami (CM), Manatí (Man), Túnel del Amor (TA) y la respuesta bioquímica en los periodos de muestreos(1) 2001 y (2) 2002. Glu (glucosa), Lac (lactosa), Alm (almidón), Cel (celulosa), Pect (pectina), Quit (quitina), Lig (lignina), Gel (gelatina), Inos (Inositol), Urea, Nit (nitrato), Fost (fosfato), Tw (Tween).

Otro aspecto a observar son las fuentes de carbono glucosa (Glu) y celulosa (Cel) en la parte positiva del segundo componente principal, y lactosa (Lac) y almidón (Alm) en la parte negativa del segundo componente, este grupo de variables tienen un comportamiento contrario, lo que indica que están correlacionadas de forma inversa. TA1 se encuentra en la parte negativa del segundo componente principal y cerca del origen del primer componente, esto indica que tiene valores altos de Lac y Alm, y valores promedio del resto de las variables, salvo de Glu y Cel, que presenta valores bajos en esta localidad en 2001. La localidad TA2 al igual que LL en los periodos 2001 y 2002, se encuentran del lado negativo del primer componente principal, lo que nos indica que las variables tienen valores por debajo de los promedios de las variables representadas en la parte positiva del primer componente, este efecto es más pronunciado debido a que estos puntos están más alejados del origen del primer eje. Estos resultados muestran la distribución espacial y temporal heterogénea de la comunidad fúngica en la dinámica del cuerpo lagunar.

Para complementar, la caracterización bioquímica durante el proceso de descomposición *in vitro* de hojas de *R. mangle* se realizó un análisis de componentes principales a las variables fisicoquímicas, la abundancia total de hongos filamentosos y levaduras y la actividad de la comunidad

fúngica frente a cada sustrato estudiado, expresando el cambio temporal que se da en las condiciones fisicoquímicas y biológicas del microcosmos durante el proceso de descomposición. A través del análisis de componentes principales (Figura 4), se vinculó el comportamiento de las variables fisicoquímicas, la abundancia de microorganismos y el potencial bioquímico de la comunidad durante los 75 días del experimento. Se identificaron seis especies de hongos: dos eran hongos filamentosos, *Penicillium commune* y *Trichoderma viride*, y cuatro fueron levaduriformes: *Candida guilliermondii*, *Geotrichum candidum*, *Trichosporon capitatum*, *Trichosporon pullulans*. De éstos, *Penicillium commune* y *Candida guilliermondii*, se consideran colonizadores que inician el proceso de descomposición. Son especies secundarias en la sucesión *Trichoderma viride*, *Trichosporon capitatum*, *Trichosporon pullulans*, y por último se observan *Geotrichum candidum* y *Trichosporon pullulans*, presentes en las cepas de levaduras mayor producción de exoenzimas amilasas, proteasas y pectinasas, lipasas, hidrolisis de carbohidratos simples y complejos como almidón, además de actividad celulolítica.

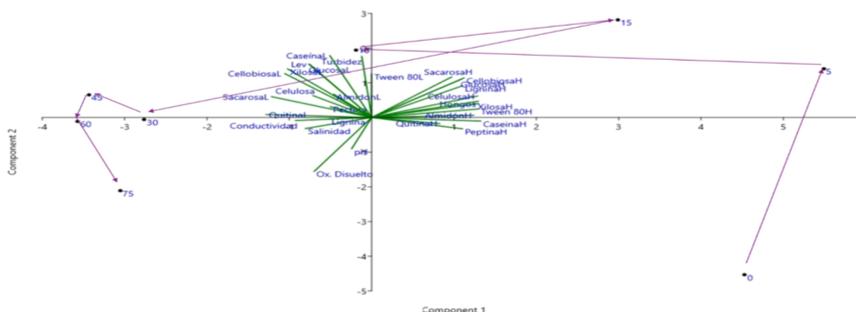


Figura 4. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) realizados para las variables fisicoquímicas y la abundancia de hongos filamentosos, levaduras en los diferentes sustratos. Los vectores en color verde representan las variables fisicoquímicas y las abundancias, los puntos negros representan los tiempos del muestreo desde 0 a 75 días.

CONCLUSIONES

Estos estudios confirman las variaciones espacio-temporales en la diversidad de la comunidad fúngica, asociada a las raíces de *R. mangle*, representadas por los Phyla Ascomyota y Zygomycota y los géneros *Aspergillus*, *Penicilium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Fusarium*, *Pestalotia*, *Curvularia*, *Cytospora*, *Acremonium*, *Blastomices*, *Monoblepharidae*, *Sincephalastrum* y *Mucor*. La variación climática estacional lluvia y sequía, refleja que existe una influencia dominante en el comportamiento hidrobiológico y ecológico del sistema lagunar y además, hace énfasis en el uso del análisis funcional de las comunidades fúngicas, donde la

disponibilidad de sustratos y la hidrodinámica del sistema inducen cambios en la estructura comunitaria, mientras que la redundancia funcional garantiza la continuidad de los procesos, indicando la resiliencia del ecosistema ante los ciclos naturales estacionales de lluvia y sequía.

Se determinó el potencial degradativo de la comunidad fúngica dentro del proceso sucesional, *in vitro* de la hojarasca de *R. mangle*, destacándose para las cepas de levaduras mayor producción de exoenzimas: amilasas, proteasas, pectinasas, lipasas, celulasas, hidrolasas, mientras que los hongos filamentosos mostraron potencial para degradar lignina y celulosa, todos componentes de la hojarasca de *R. mangle*.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a las Licenciadas Karen Bracale y Liliangel Lucena por su contribución en la identificación taxonómica de los aislados fúngicos.

LITERATURA CITADA

- Alongi, D.M. 1988. Bacterial productivity and microbial biomass in tropical mangrove sediments. *Microb. Ecol.* 15:59–79
- Argiroff, W.A., D.R. Zak, C.M. Lanser y M. J. Wiley. 2017. Microbial community functional Potential and composition are shaped by hydrologic connectivity in riverine floodplain soils. *Microb. Ecol.* 73(3):630–644.
- Barnett H.L. y B.B. Hunter. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. APS Press, Minnesota, USA. p. 218.
- Braak, C.J. y P. Smilauer. 1997. *Canoco for Windows version 4.51*. Biometris-Plant Research International. Wageningen, The Netherlands.
- Campbell, C.D., S.J. Grayston y D.J. Hirst. 1997. Use of rhizosphere carbon sources in sole carbon source tests to discriminate soil microbial communities. *J. Microbiol. Methods.* 30:33–41.
- Capitillo, N. 2017. Dinámica de la comunidad fúngica asociada a la descomposición foliar *in vitro* de *Rhizophora mangle*. Trabajo especial de grado. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 85pp
- Conde, J.E. 1996. A profile of Laguna de Tacarigua, Venezuela: A tropical estuarine coastal lagoon. *Interciencia* 21:282-292.
- Córdova-Tapia, F. y L. Zambrano, 2015. La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas* 24(3):78-87.
- Delgado-Baquerizo, M.J. Grinyer, P.B. Reich y B.K. Singh. 2016. Relative importance of soil properties and microbial community for soil functionality: insights from a microbial swap experiment. *Funct. Ecol.* 30:1862–1873.
- Garau, G., P. Castaldi, L. Santona, P. Deiana y P. Melis. 2007. Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil. *Geoderma* 142:47–57
- Holguin, G. e Y. Bashan, 2007. La importancia de los manglares y su microbiología para el sostenimiento de las pesquerías costeras. En: Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A (Eds.), *Microbiología Agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna*,

- control biológico, planta, microorganismo*. pp. 239-253. Editorial Trillas, México D.F., México.
- Hullar, M.A.J., L.A. Kaplan y D.A. Stahl. 2006. Recurring seasonal dynamics of microbial communities in stream habitats. *Appl. Environ. Microbiol.* 72:713–22.
- Hyde, K.D. y V.V. Sarma. 2000. A pictorial key to higher marine fungi. En: Hyde, K.D. y Pointing, S. B. (Eds.), *Marine Mycology-A Practical Approach*. Vol. 1, pp. 205-270. Hong Kong: Fungal Diversity Press Series.
- Kohlmeyer, J. y E. Kohlmeyer. 1971. Marine fungi from tropical America and Africa. *Mycology* 63: 831-861.
- Kohlmeyer, J. y E. Kohlmeyer. 1979. *Marine Mycology: The Higher Fungi*. Academic Press, New York:
- Malaver, N., M.P. Rodríguez, R. Montero, V.H. Aguilar y M. Salas. 2014. Cambios Espaciales y Temporales en las Características Físicoquímicas y Microbiológicas del Agua de la Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 34(1):117-151.
- Malaver, N., M.P. Rodríguez y V.H. Aguilar. 2014. Un Diagnóstico de la Calidad Microbiológica del Agua de la Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 34(2):203-226.
- Okuda, T. y J. Benítez-Álvarez. 1985. Evaluación comparativa de las condiciones hidroquímicas en el sistema lagunar Tacarigua-Unare-Piritu, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr.* 24:199-211.
- Perdomo, O.P., V. Miniño, L., Rodríguez de Francisco e Y. León. 2018. *Cytospora rhizophorae* Kohlm. y E. Kohlm (Valsaceae, Ascomycota) en la República Dominicana. *Ciencia, Ambiente y Clima* 1(1): 23-31. <https://doi.org/10.22206/cac.2018.v1i1.pp23-31>
- Peter, H., S. Beier, S. Bertilsson, E.S. Lindström, S. Langenheder y L.J. Tranvik. 2011. Function-specific response to depletion of microbial diversity. *ISME J.* 5:351-361.
- Samaritani, E., E.A.D. Mitchell, J. Rich, J. Shrestha, B. Fournier y B. Frey. 2017. Soil bacterial communities and ecosystem functioning change more strongly with season than habitat in a restored floodplain. *Appl. Soil Ecol.* 112:71-78.
- Samson, R.A., C.M. Visagie, J. Houbraken, S.B. Hong, V. Hubka, C.H.W. Klaassen, y col. 2014. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Stud Mycol.* 78: 141-173.
- Sosa-Rodríguez, T., J. Sánchez-Nieves y L. Melgarejo. 2009. Papel funcional de los hongos en ecosistemas de manglar. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38(1):39-57.
- Stefanowicz, A.M., M. Niklińska y R. Laskowski. 2008. Metals affect soil bacterial and fungal functional diversity differently. *Environ. Toxicol. Chem.* 27(3):591-598.
- Thatoi, H., B. Chandra Behera, R. Ranjan Mishra y S. Kumar Dutta. 2012. Biodiversity and biotechnological potential of microorganisms from mangrove ecosystems: a review. *Ann. Microbiol.* DOI 10.1007/s13213-012-0442-7.
- Zak, J., M. Willing, D. Moorhead y H. Wildman. 1994. Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach. *Soil Biol. Biochem.* 26:1101-1108.
- Zamora, A., N. Malaver y J. Ramos. 2012. Análisis Funcional de Microorganismos: un estimador de diversidad y estructura comunitaria. *Acta Biol. Venez.* 32(1): 57-86.
- Zamora, A. y N. Malaver. 2019. Dinámica de Comunidades Microbianas Heterotróficas en la Planicie de Inundación del Río Mapire, Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 39(1): 49-71.