

Composición de líquenes corticícolas del bosque semicaducifolio de la Reserva Natural Tati Yupí, Departamento de Alto Paraná, Paraguay

Caballero, R.^{1*} ; Pech-Canché, J. M.² ; Martínez Bernié, L.³ 

¹Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. San Lorenzo-Paraguay

²Laboratorio de Vertebrados Terrestres. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana, Tuxpan-México

*autor por correspondencia: caballero22p@gmail.com

Composición de líquenes corticícolas del bosque semicaducifolio de la Reserva Natural Tati Yupí, Departamento de Alto Paraná, Paraguay. Las reservas naturales del Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA) son áreas de conservación y nichos ecológicos importantes, donde el estudio de la riqueza de especies de líquenes es un tema escasamente abordado. Por ello, este trabajo se enfocó en el análisis de la diversidad beta de líquenes corticícolas del bosque semicaducifolio de la Reserva Natural Tati Yupí. Se delimitaron parcelas de 25 x 25 m en tres sitios, se seleccionaron en cada sitio 5 forófitos y en éstos se colectaron líquenes según altura desde la base hasta los 3,5 m. La riqueza estuvo representada por 56 especies, siendo la familia Arthoniaceae la de mayor diversidad con 13 especies (23%). La diversidad beta para los sitios fue mayor en el sitio B (79%), la cual posee una mayor cantidad de especies únicas aportando un alto nivel de complementariedad ecológica. Los estudios de diversidad liquénica en la reserva Tati Yupi requieren de su continuidad con el fin de aumentar el inventario de especies.

Palabras clave: BAAPA, biotipo, microlíquenes

Corticolous lichen in the semi-deciduous forest of the Tati Yupí Nature Reserve, Department of Alto Paraná, Paraguay. The natural reserves of the Upper Paraná Atlantic Forest (BAAPA) are conservation areas with important ecological niches. The study of lichen diversity is a scarcely addressed topic in these areas. For this reason, this study focuses on the analysis of the beta diversity of corticolous lichens of the semi-deciduous forest of the Tati Yupí Nature Reserve. Plots of 25 x 25 m were established in three sites, with 5 phorophytes were selected in each site, and lichens were collected from the base to 3,5 m. The richness was represented by 56 species, with the Arthoniaceae family having the highest representation with 13 species (23%). The beta diversity for the sites was higher at site B (79%), which has a greater number of unique species providing a high level of ecological complementarity. Lichen diversity studies in the Tati Yupi Reserve require continuity in order to increase the inventory of species.

Keywords: BAAPA, biotype, microlichens

INTRODUCCIÓN

La asociación simbiótica mutualista entre al menos un componente fotosintético y un componente fúngico generan como resultado un organismo morfológicamente diferente llamado liquen u hongo liquenizado (Chaparro y Aguirre, 2002; Purvis, 2000). Definiciones actuales también asocian la simbiosis con múltiples organismos como levaduras y bacterias (Aschenbrenner *et al.*, 2016; Spribille *et al.*, 2016), son considerados los primeros colonizadores de zonas áridas contribuyendo a la formación de suelo y a la sucesión vegetal (Herrera-Campos *et al.*, 2014; Nash, 2008) debido a su gran resistencia al frío y al calor (Grassi, 1950).

Los líquenes son muy variados, tanto en forma como en requerimientos nutricionales, crecen como epífitos, por lo general en cortezas, hojas, maderas y rocas, demostrando una adaptabilidad extraordinaria (Morales *et al.*, 2009; Nash, 2008). Los bosques tropicales albergan una gran biodiversidad de líquenes, ya que forma parte de los ecosistemas terrestres, especialmente los microlíquenes crustosos, los cuales colonizan zonas bajas dentro de estos bosques (Ramírez-Morán *et al.*, 2016; Hawksworth *et al.*, 2005), sin embargo, teniendo en cuenta el tronco el dominio de este biotipo predomina en todas las zonas del árbol (Rosabal *et al.*, 2012).

Los líquenes corticícolas, es decir, los que se desarrollan en corteza, han sido utilizados como bioindicadores de fragmentación de bosques (Ramírez-Morán *et al.*, 2016); estado de conservación de humedales (Pardo, 2017), monitoreo de calidad de aire (Estrabou *et al.*, 2011; Lijteroff *et al.*, 2009; Canseco *et al.*, 2006; Estrabou, 1998) y bioacumulación de metales pesados (Port *et al.*, 2018). Estas comunidades de líquenes además de sufrir cambios que determinan su diversidad y distribución debido a la actividad antrópica y al cambio climático (Rivas-Plata *et al.*, 2008), también sufren cambios debido al microclima, microhábitat, tipo de vegetación (Käffer *et al.*,

2011; Lücking, 1999; Estrabou y García, 1995), además de mostrar cierta preferencia en gradiente vertical sobre el forófito, es decir, el árbol en el cual crece (Rosabal *et al.*, 2016; Rosabal *et al.*, 2012).

Los estudios sobre ecología, taxonomía y sistemática de líquenes son escasos, se desconoce la riqueza, abundancia y distribución en Paraguay (Martínez-Bernié *et al.*, 2019; Michlig *et al.*, 2015), pero se estima que en el país existen 2,800 especies de líquenes considerando la superficie total del territorio (Lücking *et al.*, 2009).

Atendiendo a las amplias posibilidades de contribuir al conocimiento de la liquenobiota, en especial con los líquenes corticícolas, y complementando a los estudios en el país se desarrolla esta investigación con la finalidad de determinar la composición de líquenes corticícolas a través del análisis de diversidad beta en el bosque semicaducifolio de la Reserva Natural Tati Yupí.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La Reserva Natural Tati Yupí se encuentra localizada en el departamento de Alto Paraná (Figura 1) distrito de Hernandarias, corresponde a un bosque subtropical en proceso de recuperación, con temperatura media anual de 22°C y precipitaciones de 1,870 mm por año, esta reserva pertenece a la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA), cuenta con una superficie total de 3866,14 ha. (Kubota *et al.*, 2021; Itaipu Binacional, 2016). Esta ecorregión actualmente se encuentra degradada, ha perdido el 80% de su cobertura boscosa (MADES – DGPCB, 2019, Itaipu Binacional, 2018; 2016).

Trabajo de campo

Se seleccionaron tres sitios en el área boscosa de la Reserva Natural Tati Yupí. El sitio A y el sitio B están separados por una distancia de 950 m entre sí, mientras que el sitio C se encuentra a 2500 m del sitio A y a 3000 metros del sitio B.

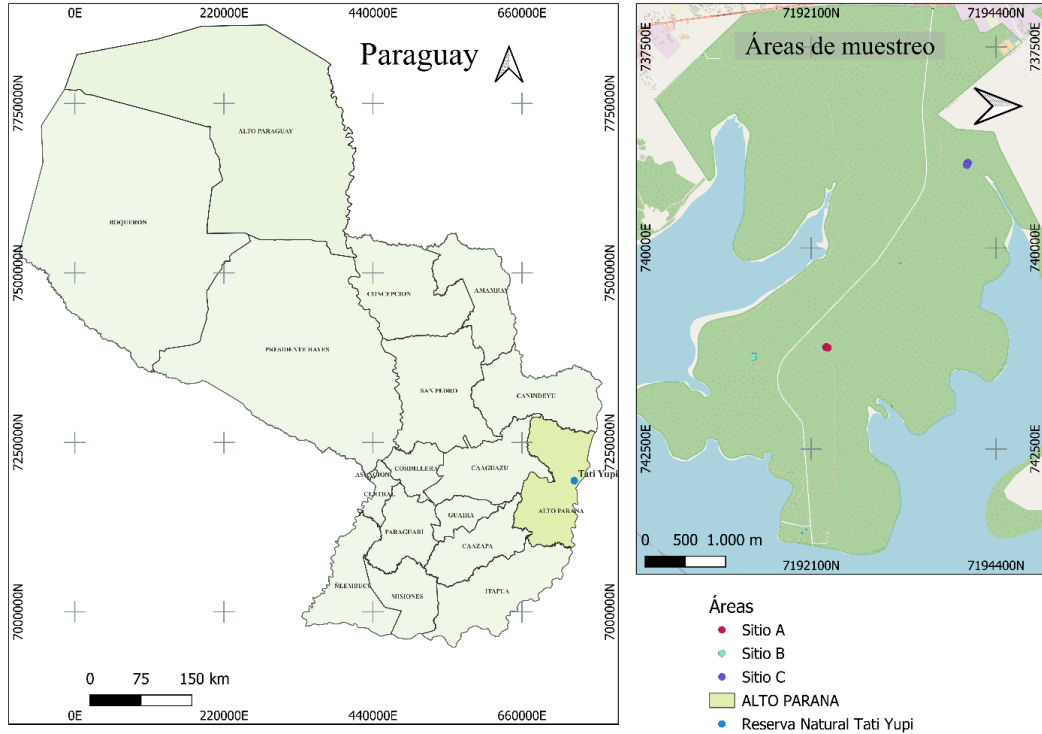


Figura 1. Mapa del Paraguay. Ubicación de la Reserva Natural Tati Yupi y las áreas de estudio (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se detallan las características de cada sitio (Itaipu Binacional, 2016).

Sitio A

Con dominio de especies como *Chrysophyllum gonocarpum* (aguai), *Diatenopteryx sorbifolia* (yvra pi'u), *Nectandra lanceolata* (laurel morotí), *Cedrela fissilis* (cedro), *Peltophorum dubium* (yvra pyta) algunos ejemplares sobrepasan los 30 m de altura, presenta un dosel en su mayoría continuo formado por árboles cercanos y con sus ramas, además de especies epífitas y helechos.

Sitio B

Las especies como *Diatenopteryx sorbifolia* (yvra pi'u), *Helietta apiculata* (yvra ovi), *Ocotea diospyrifolia* (aju'y morotí) dominan este sitio, además con ejemplares que aparecen en el sitio

A como *Chrysophyllum gonocarpum* (aguai), *Diatenopteryx sorbifolia* (yvra pi'u), *Nectandra lanceolata* (laurel morotí), *Cedrela fissilis* (cedro), *Peltophorum dubium* (yvra pyta) ejemplares que poseen los 30 m de altura, presenta un dosel no continuo con árboles más alejados entre sí, lo cual causa que el sitio posea mayor entrada de luz.

Sitio C

Con dominio de especies de la familia Myrta-ceae como *Plinia rivularis* (yvaporoit), *Eugenia uniflora* (ñangapiry), *Campomanesia xanthocarpa* (guavira pyta) de hasta casi 15 m de altura, además de especies como *Helietta apiculata* (yvra ovi), *Ocotea diospyrifolia* (aju'y morotí) con varios helechos como *Blechnum brasiliensis* y lianas como *Aristolochia triangularis*. Este sitio está asociado a un cuerpo de agua (arroyo)

el cual ofrece una humedad relativa dentro del bosque. Presenta un extenso dosel conformado por árboles próximos entre sí, cuyas ramas se entrelazan de manera casi ininterrumpida.

En cada sitio se instalaron tres parcelas de 25 x 25 m, donde se seleccionaron al azar cinco árboles según disponibilidad y frecuencia. Además, se consideraron los criterios como diámetro a la altura del pecho (DAP) desde 15 cm en adelante (Rosabal *et al.*, 2012) y presencia de líquenes en las cortezas de árboles sanos, totalizando 15 árboles muestreados. Los ejemplares fueron recolectados desde la base del árbol hasta los 3,5 m de altura (Modificado Rosabal *et al.*, 2016; 2012).

Se registraron los siguientes datos en planillas prediseñadas teniendo en cuenta las características macroscópicas como: biotipo, presencia de estructuras reproductivas, color y tamaño de los talos liquénicos. Se fotografió cada muestra *in situ* y se depositaron en sobres de papel madera (Simijaca, 2017).

Trabajo de laboratorio

Para eliminar artrópodos y otros organismos en los ejemplares colectados se depositaron en freezer a -18 °C. Se utilizó un estereoscopio BOECO – BS80 y se observaron caracteres macroscópicos como apotecios, picnidios, soredios, isidios, rizinas, así también cortes de estructuras y reacciones puntuales de color (Martínez-Bernié *et al.*, 2019).

Las observaciones microscópicas y mediciones de las esporas se realizaron con el microscopio

óptico OPTIKA – B293 y el programa LITE-View Optika. Las reacciones puntuales de color se realizaron a través de hidróxido de potasio al 10% (K), hipoclorito de sodio (C) comercial y K seguido de C (KC). Esta reacción consiste en dejar caer una pequeña gota de los anteriores reactivos en la corteza superior y médula, registrando el cambio en la coloración existente (Michlig *et al.*, 2015; Bungartz, 2002). Se empleó una cámara de luz ultravioleta Accubanker (Lugo-Fuenmayor, 2013), con el fin de identificar compuestos con fluorescencia en la médula y corteza.

Se utilizó literatura especializada y comparaciones con taxas afines para la determinación taxonómica de los ejemplares estudiados, además de bases de datos como el Consorcio de Herbario de Líquenes en América Latina (CHLAL), Index fungorum y Mycobank (Redhead y Norvell, 2012). Las muestras procesadas fueron depositadas en el Herbario de la FACEN – UNA.

Análisis de datos

Diversidad beta

Se confeccionó una base de datos con presencia - ausencia de las especies por parcela. Se calculó la diversidad beta, entre los sitios, para medir el recambio entre las especies dentro de las comunidades a través del índice de complementariedad propuesto por Colwell y Coddington (1994), el cual determina el grado de disimilitud en la composición de especies (Moreno *et al.*, 2011) utilizando Microsoft Excel, (2010).

Para obtener el valor de complementariedad

Tabla 1. Clasificación de forófitos según sitio de muestreo

Sitio	Especies de forófito	Cantidad muestreada
A	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	3
	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	2
B	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	2
	<i>Helietta apiculata</i> Benth.	1
	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	2
C	<i>Helietta apiculata</i> Benth.	1
	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Misn.) Mez	4

debemos considerar la riqueza total y las especies únicas, siguiendo la siguiente fórmula (Moreno, 2001):

La riqueza de los sitios al combinarlos: $S_{AB} = a+b-c$.

Donde **a** es el número de especies en el sitio A, **b** es el número de especies del sitio B y **c** es el número de especies en común entre los sitios A y B.

El número de especies únicas en los sitios al combinarlos: $U_{AB} = a+b-2c$.

Complementariedad entre los sitios combinados: $C_{AB} =$, donde varía entre cero (sitios idénticos) y uno (sitios diferentes).

RESULTADOS

Biotipos o formas de crecimiento de líquenes

La mayoría de las especies colectadas presentaron el biotipo crustoso (78%), el escuamuloso (18%), el folioso (3%) y filamentoso (1,2%) (Figura 2). En los tres sitios el biotipo dominante fue el crustoso, seguido por el biotipo escuamuloso, el biotipo filamentoso aparece en el sitio A y B,

sin embargo, el biotipo folioso fue exclusivo para el sitio C.

La riqueza se encuentra representada por 56 especies diferentes en los tres sitios muestreados (Tabla 2), las cuales están distribuidas en 17 géneros, 13 familias y 1 incertae sedis. Además de un grupo denominado morfoespecie ha sido separado por las reacciones puntuales de color para diferenciar una especie de otra, debido a la falta de estructuras indispensables para la identificación a nivel de especies de algunos géneros como *Cryptothecia*, *Herpothallon* y *Phyllopsora*.

La familia con mayor riqueza es Arthoniaceae con 13 especies (23%), seguida de Ramalinaceae con 9 especies (16%), las familias como Graphidaceae y Porinaceae con 6 especies cada una (11%), las familias Coenogoniaceae, Malmidiaceae y Pyrenulaceae con 3 especies cada una (5%) y las menores representaciones están dadas por las familias Crocyniaceae, Lecanographaceae, Letrouitiaceae, Opegraphaceae, Trypentheliaceae y Verrucariaceae con 1 especie dentro de cada familia (2%).

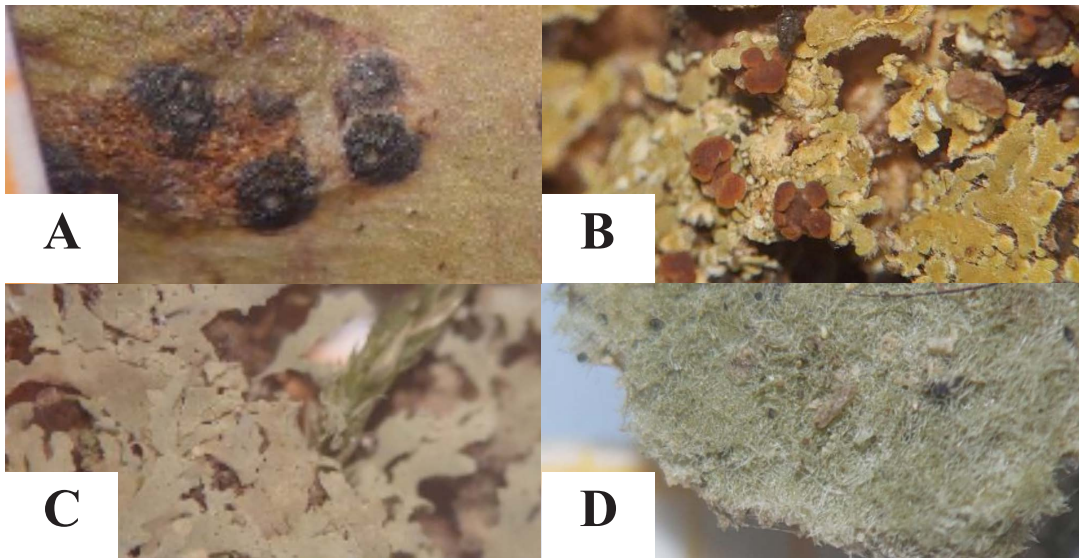


Figura 2. Tipos de crecimiento, A. Crustoso: *Lithothelium obtectum* (Müll.Arg.) Aptroot, B. Escuamuloso: *Phyllopsora* sp. Müll. Arg., C. Folioso: *Flakea papillata* O. E. Erikss., D. Filamentoso: *Coenogonium* sp. Ehrenb

Tabla 2. Especies de líquenes corticícolas por familia de la Reserva Natural Tati Yupi

Arthoniaceae	<i>Cryptothecia</i> Stirt.	<i>Cryptothecia striata</i> G. Thor, <i>Cryptothecia</i> sp.1, <i>Cryptothecia</i> sp.2, <i>Cryptothecia</i> sp.3, <i>Cryptothecia</i> sp.4, <i>Cryptothecia</i> sp.5, <i>Cryptothecia</i> sp.6,
	<i>Herpothallon</i> Tobler.	<i>Herpothallon rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot, Lücking & G. Thor, <i>Herpothallon</i> sp.1, <i>Herpothallon</i> sp.2, <i>Herpothallon</i> sp.3, <i>Herpothallon</i> sp.4, <i>Herpothallon</i> sp.5
Ramalinaceae	<i>Bacidia</i> De Not.	<i>Bacidia</i> sp.1,
	<i>Phyllopsora</i> Müll. Arg	<i>Phyllopsora</i> sp.1, <i>Phyllopsora</i> sp.2, <i>Phyllopsora</i> sp.3, <i>Phyllopsora</i> sp.4, <i>Phyllopsora</i> sp.5, <i>Phyllopsora</i> sp.6, <i>Phyllopsora</i> sp.7, <i>Phyllopsora</i> sp.8
Graphidaceae	<i>Graphis</i> Adans.	<i>Graphis</i> sp.1, <i>Graphis</i> sp.2, <i>Graphis</i> sp.3, <i>Graphis</i> sp.4,
	<i>Myriotrema</i> Fée	<i>Myriotrema</i> sp.1, <i>Myriotrema</i> sp.2
Porinaceae		<i>Porina internigrans</i> (Nyl.) Müll. Arg., <i>Porina mastoidea</i> (Ach.) Müll. Arg., <i>Porina nucula</i> Ach., <i>Porina tetracerae</i> (Ach.) Müll. Arg., <i>Porina</i> sp.1, <i>Porina</i> sp.2
MorfoEspecies	Morfo	Morfo A, Morfo B, Morfo C, Morfo D, Morfo E, Morfo F
Coenogoniaceae	<i>Coenogonium</i> Ehrenb.	<i>Coenogonium subdilutum</i> (Malme) Lücking, Aptroot & Sipman, <i>Coenogonium</i> sp.1, <i>Coenogonium</i> sp.2
Malmideaceae	<i>Malmidea</i> Kalb, Rivas Plata & Lumbsch	<i>Malmidea granifera</i> (Ach.) Kalb, Rivas Plata & Lumbsch, <i>Malmidea gyalectoides</i> (Vain.) Kalb & Lücking, <i>Malmidea vinosa</i> (Eschw.) Kalb, Rivas Plata & Lumbsch
Pyrenulaceae	<i>Lithothelium</i> Müll. Arg.	<i>Lithothelium obtectum</i> (Müll.Arg.) Aptroot,
	<i>Pyrenula</i> Ach.	<i>Pyrenula aspistea</i> (Afzel. ex Ach.) Ach. <i>Pyrenula quassiaecola</i> Müll. Arg
Crocyniaceae	<i>Crocynia</i> (Ach.) A. Massal.	<i>Crocynia</i> sp.1
Incertae sedis	<i>Piccolia</i> A. Massal.	<i>Piccolia wrightii</i> (Tuck.) Hafellner
Lecanographaceae	<i>Alyxoria</i> Ach. ex Gray	<i>Alyxoria</i> sp.1
Letrouitiaceae	<i>Letrouitia</i> Hafellner & Bellem.	<i>Letrouitia domingensis</i> (Pers.) Hafellner & Bellem.
Opegraphaceae	<i>Cresponea</i> Egea & Torrente	<i>Cresponea</i> sp.1
Trypetheliaceae	<i>Polymeridium</i> (Müll. Arg.) R.C. Harris	<i>Polymeridium</i> sp.1
Verrucariaceae	<i>Flakea</i> O. E. Erikss	<i>Flakea papillata</i> O. E. Erikss

Diversidad beta

En el sitio A se identificaron 9 especies exclusivas, mientras que el sitio B se observó 14 especies exclusivas, y en el sitio C con 13 especies exclusivas. Además, los tres sitios comparten únicamente 6 especies, expresando cierto grado de diferenciación en la composición de las especies de líquenes en estos sitios (Figura 3).

El índice de complementariedad para el sitio A con el sitio B mostró un valor del 79%, el cual indica que la cantidad de especies compartidas entre estos sitios es relativamente baja, esta misma tendencia se observa entre el sitio B y C.

El índice de complementariedad más bajo se observó entre los sitios A y C, estos sitios comparten una mayor cantidad de especies. El sitio B

aporta un alto nivel de complementariedad ecológica a los sitios muestreados.

DISCUSIÓN

Biotipos o hábitos de crecimientos de los líquenes

En los bosques las especies crustosas son las más abundantes, pues colonizan todos los estratos de un forófito, estas especies contribuyen a la mayor diversidad en los trópicos (Castillo-Campos *et al.*, 2019; Wolf, 1993), en este estudio el biotipo crustoso fue el mejor representado, ya que son los más diversos y comunes en los bosques (Sipman y Harris, 1989).

La familia con mayor riqueza fue Arthoniaceae con 13 especies (23%), al igual que el trabajo realizado en el Parque Nacional de Ybycuí (Martínez-Bernié *et al.*, 2019), cuyo resultado menciona a las Arthoniaceae como más abundantes, éstos microlíquenes, en su mayoría, tienen propágulos vegetativos en todo el talo, como forma de reproducción (Käffer, 2011).

La presencia de las especies compartidas en los tres sitios (como por ejemplo las *Phyllopsora* sp., *Cryptothecia* sp. y los *Herpothallon* sp.) de acuerdo con lo manifestado por Marcelli (1992) y Spielmann, (2005), se encuentran relacionadas por la capacidad de desarrollo de los especímenes, aspectos ecológicos y reproductivos, edad de sus hábitats y la comunidad natural estable donde se desarrollan.

Diversidad beta

La diversidad beta comparada con la diversidad alfa es alta, esto se debe a la escasa cantidad de especies compartidas entre todos los sitios (6 especies), además en los sitios se identificaron especies de forma exclusiva, por ello se considera que la diversidad beta contribuye más a la diversidad general, lo que coincide con los resultados de Soto-Medina *et al.* (2012).

Los tres sitios seleccionados exhiben leves diferencias en las condiciones ambientales, por

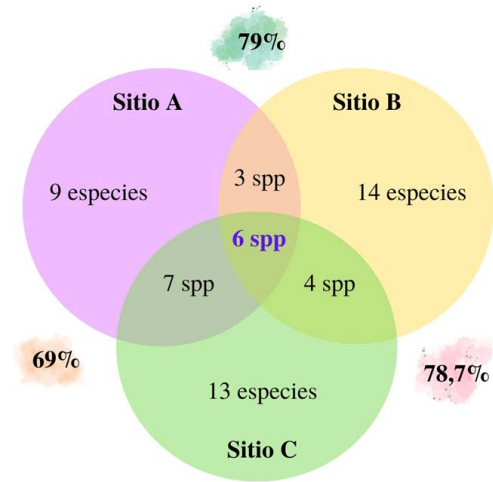


Figura 3. Diagrama de Venn. Número de especies exclusivas y compartidas entre los sitios estudiados

ejemplo, la incidencia lumínica, donde el sitio B presentó mayor exposición de luz, comparando con los demás, esto explica las diferencias en la diversidad beta para ese sitio, teniendo en cuenta que los parámetros microambientales o condiciones de microsítio (Rivas-Plata *et al.*, 2008) que afectan el componente de diversidad beta (Rosabal *et al.*, 2016).

Además, cada sitio tiene por sí sólo más especies que las compartidas entre los tres sitios, esto también explica el alto recambio dado por el sitio B. La diversidad beta alta está relacionada con los microlíquenes presentes como especies únicas (Cáceres *et al.*, 2007) y además de las especies estériles que aumentan la diversidad del muestreo (Soto-Medina *et al.*, 2012; Cáceres *et al.*, 2007).

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La Reserva Natural Tati Yupi es parte integral del BAAPA, la cual está considerada como una de las ecorregiones más importantes para la conservación dentro del territorio. La reserva presenta una dominancia de especies crustosas dentro de

sus bosques, en especial microlíquenes, los cuales aumentan la diversidad de los diferentes sitios.

Los líquenes son organismos pocos estudiados en Paraguay, este estudio es el primer trabajo sobre líquenes corticícolas para el departamento del Alto Paraná. El relevamiento de estos ejemplares no refleja toda la diversidad de las especies de líquenes existente en la reserva, por lo que el trabajo de colecta e identificación se debe continuar para aumentar el inventario de estas especies.

Es importante preservar los bosques para que el ensamble de las comunidades de líquenes no se vea afectada por los cambios antropogénicos a los que están sujetos los bosques de nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. André Aptroot por la confirmación de las especies identificadas, a los guardaparques de la Reserva Nacional Tati Yupi por el acompañamiento y a las Ingenieras forestales Victoria Kubota, Laura Lombardo por el apoyo durante las colectas y toma de datos.

APORTES DE LOS AUTORES

RC desarrolló su tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Mención Biodiversidad y Sistemática. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción (FACEN-UNA), Paraguay. LMB y JMP fueron los directores de la investigación y la defensa de la tesis. LMB realizó con RC la salida de campo y trabajo de identificación en laboratorio. JMP participó en el análisis de datos. Todos los autores participaron en la redacción y revisaron la versión final del manuscrito.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores no tienen intereses contrapuestos para declarar que sean relevantes para el contenido de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aschenbrenner, I., Cernava, T., Berg, G., & Grube, M. (2016). Understanding microbial multi-species symbioses. *Frontiers in Microbiology*, 7(FEB), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00180>
- Bungartz, F. (2002). A safe and accurate method to apply spot test chemicals to lichen thalli in the laboratory and the field. *Evansia*, 19(3), 123–124
- Cáceres, M., Lüicking, R., & Rambold, G. (2007). Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. *Mycological Progress*, 6(3), 117–136. <https://doi.org/10.1007/s11557-007-0532-2>
- Canseco, A., Anze, R., y Franken, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 3(2), 286–307
- Castillo-Campos, G., Pérez-Pérez, R., Córdova-Chávez, O., García-Franco, J., & Cáceres, M. (2019). Vertical distribution of epiphytic lichens on *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. in a remnant of cloud forest in the state of Veracruz, México. *Nordic Journal of Botany*, 37(12). <https://doi.org/10.1111/njb.02459>
- Chaparro de Valencia, M; Aguirre Ceballos, J. (2002). *Hongos liquenizados*. Universidad Nacional de Colombia
- Colwell, R. K. & Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 345, 101–118
- Estrabou, C. (1998). Lichen species identification and distribution according to tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba, Argentina. *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications*, 165–169

- Estrabou, C., Filippini, E., Soria, J., Schelotto, G., & Rodríguez, J. (2011). Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 182(1–4), 375–383. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1882-4>
- Estrabou, C., y García, L. (1995). Comunidades líquénicas cortícolas sobre *Lithraea ternifolia* (Gill.) Barkley y Rom. en las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba, Argentina. *Botanica Complutensis*, 20, 35–44. <https://doi.org/10.5209/BOCM.7312>
- Grassi, M. M. (1950). *Los líquenes Foliosos y Fruticulosos de Tucumán*. (H. R. Descole, Ed.) LILLOA, XXIV, 297-385
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., y Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de micología*, 22(2), 71-82.
- Herrera-Campos, D., Lücking, R., Pérez-Pérez, R., Miranda-González, R., Sánchez, N., Barcenás-Peña, A., Carrizosa, A., Zambrano, A., Ryan, B., y Nash, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 82–99. <https://doi.org/10.7550/rmb.37003>
- Index fungorum. (2022). Base de datos. *Mycological Research* 104: 516-517, 2000 <http://www.indexfungorum.org/names/names.asp>
- Itaipu Binacional. (2016). *Plan de Manejo 2017 – 2021 de la Reserva Natural Tati Yupi*. Hermandarias, Paraguay
- Itaipu Binacional. (2018). *Plan de Manejo 2017 – 2021 de la Reserva Natural Itabó*. Editorial Fotosíntesis. Asunción, Paraguay
- Käffer, M., Alves, C., Cáceres, M., Martins, S., & Vargas, V. (2011). Caracterização da comunidade líquênica corticícola de Porto Alegre e áreas adjacentes, RS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25(4), 832–844. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400010>
- Kubota, V., Caballero González, R. D., y Fernández Lomaquiz, A. E. (2021). Variación de biomasa en un periodo de 21 años en un Bosque Atlántico del Alto Paraná (Paraguay). *Colombia Forestal*, 24(1), 60–70. <https://doi.org/10.14483/2256201x.16313>
- Lijteroff, R., Lima, L., y Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 25(2), 111–120
- Lücking, R. (1999). Ecology of Follicolous Lichens at the ‘Botarrama’ Trail (Costa Rica), a Neotropical Rainforest. IV. Species Associations, their Salient Features and Their Dependence on Environmental Variables. *The Lichenologist*, 31(03), 269. <https://doi.org/10.1017/s0024282999000377>
- Lücking, R., Rivas Plata, E., Chaves, J. L., Umaña, L., & Sipman, H. J. (2009). How many tropical lichens are there... really?. *Bibliotheca Lichenologica*, 100, 399-418.
- Lugo-Fuenmayor, G. (2013). Preliminary inventory of Corticolous lichens of the Sierra de San Luis, Venezuela Inventario preliminar de líquenes cortícolas de la Sierra de San Luis, Venezuela Gabriela Lugo. *Resumen*, 3(2), 110–119
- MADES - DGPCB. (2019). *Sexto Informe al Convenio de Diversidad Biológica. Proyecto. “Asistencia a las Partes que reúnen las condiciones para la elaboración del sexto informe nacional sobre la Diversidad Biológica (6NR)”*. GEF. PNUD. Asunción. Paraguay.
- Marcelli, M.P. (1992). Ecología Liguênica nos Manguezais do Sul-Sudeste. *Bibl. Lichenol*, 47, 1-310
- Martínez-Bernié, L.; Mereles, F. y Estrabou, C. (2019). Contribución al estudio de líquenes corticícolas del Parque Nacional Ybycuí, Departamento de Paraguari. *Steviana*, 11(1), 42–54
- Michlig, A., Rodriguez, M. P., & Ferraro, L. (2015). New record and distribution map of *Parmotrema rubifaciens* (Parmeliaceae, Ascomycota) in the Neotropics. Check

- List. *The Journal of Biodiversity Data*, 11(5), 1–5. [https://doi.org/10.1016/s1726-4901\(16\)00050-2](https://doi.org/10.1016/s1726-4901(16)00050-2)
- Morales, A., Lücking, R., y Anze, R. (2009). *Una Introducción al estudio de los Líquenes de Bolivia*. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”
- Nash III, T. H. (2008). *Lichen Biology* (2nd ed.). Cambridge University Press
- Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E., Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249–1261
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza
- Pardo Becerra, Y. (2017). *Estado de conservación de seis humedales de Bogotá DC, utilizando líquenes como bioindicadores* [Master’s thesis, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].
- Port, R. K., Käffer, M. I., & Schmitt, J. L. (2018). Morphophysiological variation and metal concentration in the thallus of *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale between urban and forest areas in the subtropical region of Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33), 33667–33677. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3246-x>
- Purvis, W. (2000). Lichens. The Natural History Museum London and Smithsonian Institution. 112pp
- Ramírez-Morán, N. A., León-Gómez, M., y Lücking, R. (2016). Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de Bosque Altoandino (Reserva Biológica “Encenillo”, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 31–52. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57821>
- Redhead, S., & Norvell, LV. (2012) “Mycobank, Index Fungorum, and Fungal Names recommended as official nomenclatural repositories for 2013.” *IMA Fungus*, 3(2), 44-45
- Rivas-Plata, E., Lücking, R., & Lumbsch, H. T. (2008). When family matters: An analysis of Thelotremaaceae (Lichenized Ascomycota: Ostropales) as bioindicators of ecological continuity in tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 17(6), 1319–1351. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9289-9>
- Rosabal, D., Burgaz, A. R., y Reyes, O. J. (2012). Diversidad y distribución vertical de líquenes corticícolas en la pluvisilva montana de la Gran Piedra, Cuba. *Botanica Complutensis*, 36, 19–30. <https://doi.org/10.5209/rev-BOCM.2012.v36.39439>
- Rosabal, D., Burgaz, A. R., y Reyes, O. J. (2016). Analizando la diversidad beta en ensamblajes de líquenes en un gradiente vertical sobre cinco especies de forófitos en la pluvisilva Montaña de la Gran Piedra, Cuba. *Botanica Complutensis*, 40, 23–33. <https://doi.org/10.5209/BOCM.53196>
- Simijaca Salcedo, D. F. (2017). Estudio comparativo de la diversidad líquénica y su distribución vertical en *Quercus humboldtii* Bonpl y *Pinus patula* Schltdl & Cham. [Tesis de Maestría. Bogotá].
- Sipman, H. J. M. & Harris, R. C. 1989. Lichens. En: H. Lieth & M. A. Werger (Eds.), *Tropical rain forest ecosystems*: 303-309. Elsevier, Amsterdam.
- Soto-Medina, E., Lücking, R., y Rojas, A. B. (2012). Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes corticícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zingara, Cali, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 60(2)
- Spielmann, A. (2005). *A família Parmeliaceae (fungos liquenizados) nos barrancos e peraus da encosta da Serra Geral, Vale do Rio Pardo, Rio Grande do Sul, Brasil*. [Trabalho de Post Grado. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, Brasil].
- Spribille, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., Schneider, K.,

Stabentheiner, E., Toome-Heller, M., Thor, G., Mayrhofer, H., Johannesson, H., & McCutcheon, J. P. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488–492. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8287>

Wolf, J. (1993). Diversity Patterns and Biomass of Epiphytic Bryophytes and Lichens Along an Altitudinal Gradient in the Northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80(4), 928. <https://doi.org/10.2307/2399938>