

Briófitos urbanos de Tunja. Caso campus de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Urban Bryophytes in Tunja. The Case of the Campus of Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Wilson Ricardo Álvaro Alba^{ab}, Daniela A. Becerra Infante^{cd}, Karen A. Cárdenas Espinosa^{ef}, Bibiana Moncada^{gh}

^a Grupo de Investigación Biota y Sociedad, Fundación Trópico Alto, Herbario J.J. Triana, Colombia

^c Grupo de Investigación Biología para la Conservación, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

^e Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá

^g Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias y Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Botanischer Garten Berlin, Alemania

^b walvaroa@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0003-3089-9515>

^d daniela.becerrain@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-5595-2418>

^f cardenasek@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0001-6446-0119>

^h bibianamoncada@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0001-9984-2918>

Citation: Álvaro Alba, W. R., Becerra Infante, D. A., Cárdenas Espinosa, K. A., y Moncada, B. (2024). Briófitos urbanos de Tunja. Caso campus de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. *Mutis*, 14(1), 1- 23.
<https://doi.org/10.21789/22561498.1975>

Recibido: 20 de febrero de 2023

Aceptado: 30 de marzo de 2023

Copyright: © 2024 por los autores. Licenciado para *Mutis*. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

RESUMEN

Los ambientes urbanos albergan una riqueza significativa de briófitos. Estas plantas no vasculares pueden colonizar cualquier tipo de sustrato presente en las ciudades como suelo, roca, cortezas de árboles y arbustos, hojas vivas, materiales rocosos presentes en el ladrillo, estructuras de edificaciones y concreto. Durante esta investigación se estudiaron los musgos, hepáticas y antocerotes que habitan el campus de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja (Boyacá). Para ello, se realizaron muestreos sobre los sustratos artificiales, propios de la infraestructura y sustratos naturales presentes en áreas verdes y bosques plantados en el área de estudio. Con los datos obtenidos se analizó la riqueza y composición de las briofitas, la especificidad de sustrato y la interacción de forófitos vs. briófitos. El estudio permitió reconocer un total de 80 especies y demostró que el sustrato que concentró la mayor cantidad de briófitos fue el suelo, seguido por las cortezas de los árboles y la materia orgánica en descomposición, siendo el sustrato suelo exclusivo para los antocerotes. Los forófitos con más riqueza de especies de musgos y hepáticas correspondieron a *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth y *Pittosporum undulatum* Vent. Se reportan las especies *Bryum coronatum* Schwägr., *Fabronia jamesonii* Taylor, *Frullania sphaerocephala* Spruce y *Streptopogon cavifolius* Mitt. como registros nuevos para el departamento de Boyacá.

Palabras clave: diversidad urbana; ecología urbana; estratificación vertical; plantas no vasculares; ciencias naturales.

ABSTRACT

Urban environments harbor a significant variety of bryophytes. These non-vascular plants can colonize any type of substrate –such as soil, rock, tree and

shrub bark, living leaves, rock materials– present in brick, concrete or building structures in cities. For this research, the mosses, liverworts and hornworts that inhabit the campus of Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, in Tunja (Boyacá) were studied. For this, samplings of the artificial substrates of the infrastructure and of the natural substrates in the green areas and the planted forests in the study area were conducted. With the data obtained, the richness and composition of the bryophytes, the specificity of the substrate and the interaction of phorophytes vs. bryophytes were analyzed. The study allowed the recognition of 80 species and showed that the substrate that concentrated the greatest number of bryophytes was soil, followed by tree bark and decomposing organic matter. The ground substrate turned out to be exclusive of the hornworts. The phorophytes with the highest species richness of mosses and liverworts corresponded to *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth and *Pittosporum undulatum* Vent. The species *Bryum coronatum* Schwäegr, *Fabronia jamesonii* Taylor, *Frullania sphaerocephala* Spruce and *Streptopogon cavifolius* Mitt were reported as new records for the department of Boyacá.

Keywords: Urban diversity; Urban ecology; Vertical stratification; Non-vascular plants; Natural sciences.

INTRODUCCIÓN

En la mayor parte del mundo las ciudades crecen de manera vertiginosa, tanto demográfica como territorialmente, siendo la urbanización como uno de los procesos más rápidos y de mayor importancia del cambio global que el ser humano promueve sobre el planeta, cuya expansión conlleva una enorme ruptura de los sistemas naturales que se encuentran cada vez más aislados (Terradas *et al.*, 2011). En Colombia la expansión urbana se ha visto marcada por el acelerado proceso de concentración de la población en las grandes ciudades, pasando de ser un país principalmente rural, a presentar en las urbes una aglomeración alrededor de tres cuartas partes de su población total (Ruiz *et al.*, 2007; Vélez-Henao, 2020). Esta dinámica aumenta la demanda de recursos y establece nuevas presiones sobre los ecosistemas, generando una preocupación por la sostenibilidad en las ciudades, que a su vez impulsa el estudio de la ecología urbana (Pickett *et al.*, 2016; Poumanyong & Kaneko, 2010). Las ciudades poseen características ambientales que las convierten en medios duros y agresivos para muchos seres vivos; sin embargo, sus peculiares condiciones ecológicas, como son una alta riqueza de nutrientes, un clima particular y la presencia de contaminantes atmosféricos, parece favorecer el establecimiento de algunos organismos (Heras & Soria, 1990).

Los briófitos (musgos, hepáticas y antocerotes) tienen una gran diversidad genética expresada en un amplio y variado desarrollo bioquímico, lo que les ha permitido tener un comportamiento fisiológico y un ciclo de vida adecuados para ocupar una muy amplia variedad de nichos (Glime, 2017a). La capacidad de absorción de nutrientes y agua de manera directa por las células del gametófito, la posibilidad de instalarse en sustratos artificiales o naturales, su facultad de la reviviscencia y su gran capacidad para la multiplicación vegetativa, son características que les permiten habitar las ciudades con más facilidad que otros organismos (Heras & Soria, 1990). Los sustratos colonizados por briófitos preferiblemente deben contar con un contenido de agua suficiente, una iluminación adecuada que permita la actividad

fotosintética y una buena porosidad del sustrato, que favorezca la retención de humedad y la sujeción mecánica de los rizoides (Sameño, 2018).

Los briófitos son muy sensibles a ciertos contaminantes, lo que los convierte en importantes herramientas para el estudio de la calidad del aire dentro de las ciudades; en efecto, el empobrecimiento de la flora muscinal en núcleos urbanos e industriales se atribuye principalmente a la contaminación atmosférica (Casas & Sáiz, 1982; Zepeda-Gómez *et al.*, 2014). Además de ser buenos indicadores de condiciones ambientales, los musgos, hepáticas y antoceros son de gran importancia ecológica, pues poseen una variedad de estrategias por las cuales pueden secuestrar sustancias que son tóxicas para muchas plantas vasculares y animales (Satake *et al.*, 1984), son importantes controladores de la erosión, contribuyen en la fijación de nitrógeno (Glime, 2007) y a su vez, ayudan a mantener una significativa carga de humedad necesaria para la subsistencia de las especies, evitando así el estrés hídrico, además de servir como hábitat y alimento de innumerables animales invertebrados y vertebrados (Cutz *et al.*, 2010).

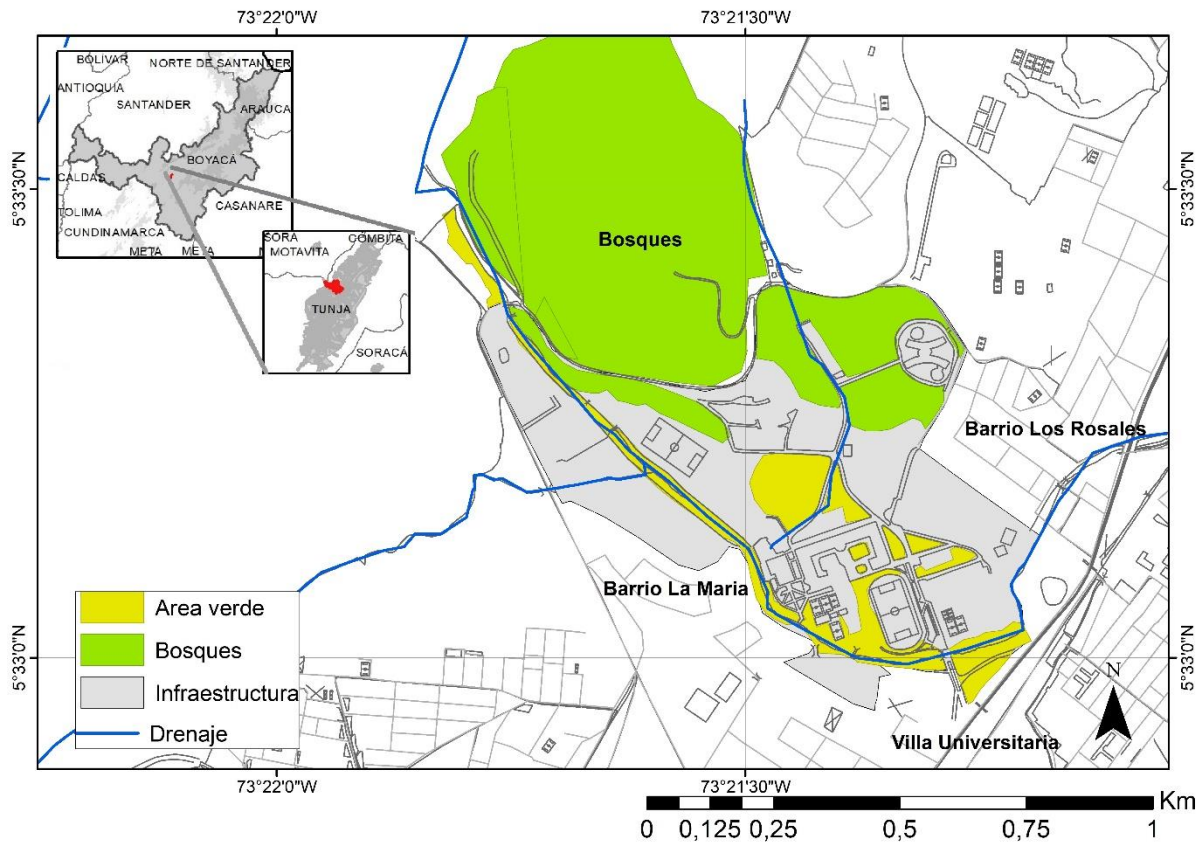
A pesar de la notable importancia de estas plantas en los ecosistemas urbanos, a la fecha se registran pocos estudios en Colombia, donde en la mayoría de estos, se les encuentra destacando su papel bioindicador en la calidad atmosférica (ej. Rubiano & Chaparro, 2006; Simijaca-Salcedo *et al.*, 2014; Zapata-Muñoz *et al.*, 2018). El presente trabajo, pretende contribuir con los estudios de los briófitos en áreas urbanas, específicamente en la sede principal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá), presentando un inventario de las especies encontradas en el campus universitario, los sustratos sobre los que se establecen y la posible relación con las especies de plantas vasculares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC-Tunja) se localiza en el departamento de Boyacá y la sede principal se encuentra en la ciudad de Tunja a los 5°33'5.5"N y 73°21'23.3"O, a una altitud de 2690 m. El campus comprende una superficie de 20 ha (UPTC & ICANH, 2006) y limita al oriente con la Avenida Central del Norte y El Pozo de Donato, al occidente con el sector de San Ricardo, Vereda Carbonera (Motavita), al sur con los barrios La María y Villa Universitaria y por el norte con los barrios Los Rosales y Pozo de Donato (Figura 1). La ciudad de Tunja tiene un clima frío, con una temperatura promedio de 12.9 °C. Presenta un régimen de lluvias bimodal, con un promedio de lluvia total anual de 645 mm. La temporada seca se registra en los meses de diciembre a febrero y julio a agosto y la temporada de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre (IDEAM, s.f.).

Figura 1. Mapa del campus de la UPTC-Tunja indicando las áreas de muestreo.



Fuente: elaborado por Celeste Montilla.

Muestreo de material vegetal

El muestreo se realizó en la época seca del mes de enero de 2015, en el campus universitario, en donde se realizaron recorridos por áreas boscosas, que incluyeron bosques plantados de pino, acacia y eucalipto; zonas verdes como, prados, jardines, senderos, áreas de protección arqueológica y estructuras artificiales (infraestructura), que engloban los edificios, andenes y vías de acceso pavimentadas (Fig. 1), donde se recolectaron los briófitos en los diferentes sustratos como roca, suelo, materia orgánica en descomposición, paredes de ladrillo y adobe, tejas de barro y asbesto, marcos de ventanas, postes de madera para cercar, pisos de concreto y cortezas de los árboles y arbustos. En cuanto a los briófitos epífitos, se identificó la especie de forófito y datos del estrato en donde se encontraron (base, tronco, ramas).

Las colecciones botánicas se depositaron en el Herbario Forestal “Gilberto Emilio Mahecha Vega”, sección Criptógamas (UDBC) bajo la numeración del primer autor. Los briófitos se determinaron a nivel específico con el uso de las claves taxonómicas de Zander (1993); Allen (1994); Churchill & Linares (1995); Allen (2002);

Allen (2010); Aponte & Uribe (2017); Allen (2018) y Gradstein (2021). Para la clasificación taxonómica de las especies de musgos se siguió a Goffinet & Buck (2020) y para hepáticas y antocerotes a Gradstein (2021).

Análisis de datos

La diversidad de briófitos para el área de estudio se demostró mediante la riqueza de especies, destacando las familias más representativas y los géneros con mayor número de especies. Para comparar la composición de las especies de briófitos en las áreas estudiadas se realizó un análisis de disimilitud de Jaccard, utilizando los componentes de recambio y anidamiento, mediante el paquete Betapart versión 1.6 (Baselga *et al.*, 2023) en el programa R versión 4.2.3 (R Core Team, 2023). Con el fin de evaluar las especies que se presentan exclusivamente en un tipo de sustrato y aquellas especies compartidas por tipo de sustrato se expresó la relación briófito-sustrato mediante un grafo con estadísticas de grado medio, diámetro de la red no dirigido y modularidad con 1.0 de resolución en el paquete estadístico Gephi 0.10.1 (Bastian *et al.*, 2009). Para identificar las posibles relaciones entre forófitos y briófitos se realizó un análisis de interacción mediante la elaboración de una matriz de adyacencia con valores de 1 y 0, donde 1 indica una interacción y 0 ninguna interacción. La red de interacción obtenida fue graficada con los paquetes Network (Butts, 2008), Vegan (Oksanen *et al.*, 2022) y Bipartite (Dormann *et al.*, 2008), en el programa estadístico R versión 4.2.3 (R Core Team, 2023). Para analizar la presencia – ausencia de las especies de briófitos sobre los estratos de los forófitos (base, tronco y ramas) se realizó un grafo utilizando el paquete estadístico Gephi 0.10.1 (Bastian *et al.*, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza

Se registran 80 especies de briófitos para el área de estudio, pertenecientes a 27 familias y 40 géneros, incluyendo 4 nuevos registros para el departamento de Boyacá. Los musgos son el grupo más diverso con 49 especies, en 27 géneros y 17 familias, seguido de las hepáticas, con 29 especies en 11 géneros y 8 familias y antocerotes con dos especies pertenecientes a los géneros *Anthoceros* (Anthocerotaceae) y *Phaeoceros* (Notothyladaceae) (Tabla 1). En cuanto a hábitos de crecimiento, los musgos acrocárpicos presentan el mayor número de especies (35), seguido de hepáticas foliosas (22), musgos pleurocárpicos (14) y formas talosas (9).

Los valores más altos en cuanto a riqueza de briófitos en el campus de la UPTC-Tunja se evidenciaron en las áreas verdes con 63 especies (37 musgos, 24 hepáticas y 2 antocerotes), seguido de los bosques plantados con 32 (17 musgos y 15 hepáticas) y la infraestructura con 12 (11 musgos y una hepática). Las especies *Frullania pluricarinata* Gottsche, *Polytrichum juniperinum* Hedw. y *Pseudocrossidium replicatum* (Taylor) R.H.Zander se establecieron en todas las áreas de muestreo. Las zonas verdes tuvieron 37 especies exclusivas, los bosques plantados 13 y la infraestructura cuatro especies (Tabla 1).

Tabla 1. Familias y especies de musgos, hepáticas y antocerotes registrados en el campus de la UPTC-Tunja. Se incluyen abreviaturas de las especies utilizadas en las Figuras 3 y 5. Ubicación de las especies en las áreas de muestreo: 1-Áreas verdes, 2-bosques plantados y 3-infraestructura. Nuevos registros para el departamento de Boyacá (*). Fotografías de algunas especies registradas para el campus de la UPTC-Tunja en: Álvaro *et al.* (2019).

MUSGOS			
FAMILIA	ESPECIE	ABREVIATURA	UBICACIÓN
BARTRAMIACEAE	<i>Anacolia laevisphaera</i> (Taylor) Flowers	An.lae	1, 2
BRACHYTHECIACEAE	<i>Brachythecium occidentale</i> (Hampe) A.Jaeger	Br.occ	1
BRACHYTHECIACEAE	<i>Brachythecium ruderale</i> (Brid.) W.R.Buck	Br.rud	1, 2
BRACHYTHECIACEAE	<i>Brachythecium rutabulum</i> (Hedw.) Schimp.	Br.rut	1, 2
BRACHYTHECIACEAE	<i>Meteoridium remotifolium</i> (Müll.Hal.) Manuel	Me.rem	2
BRYACEAE	<i>Anomobryum julaceum</i> (Schrad. ex G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Schimp.	An.jul	3
BRYACEAE	<i>Bryum andicola</i> Hook.	Br.and	1
BRYACEAE	<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	Br.arg	1, 3
BRYACEAE	<i>Bryum chryseum</i> Mitt.	Br.chr	1
BRYACEAE	* <i>Bryum coronatum</i> Schwägr.	Br.cor	3
BRYACEAE	<i>Bryum densifolium</i> Brid.	Br.den	1
BRYACEAE	<i>Bryum limbatum</i> Müll.Hal.	Br.lim	1
CRYPHAEACEAE	<i>Cryphaea jamesonii</i> Taylor	Cr.jam	1
CRYPHAEACEAE	<i>Cryphaea patens</i> Hornsch. ex Müll.Hal.	Cr.pat	1
CRYPHAEACEAE	<i>Cryphaea ramosa</i> (Mitt.) Mitt.	Cr.ram	1
DICRANACEAE	<i>Dicranella callosa</i> (Hampe) Mitt.	Di.cal	1
DICRANACEAE	<i>Dicranella heteromalla</i> (Hedw.) Schimp.	Di.het	3
DITRICHACEAE	<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. subsp. <i>stenocarpus</i> (Bruch & Schimp.) Dixon	Ce.pur	1
ENTODONTACEAE	<i>Entodon jamesonii</i> (Taylor) Mitt.	En.jam	1
ENTODONTACEAE	<i>Erythrodontium longisetum</i> (Hook.) Paris	Er.lon	1
FABRONIACEAE	<i>Fabronia ciliaris</i> (Brid.) Brid.	Fa.cil	1
FABRONIACEAE	* <i>Fabronia jamesonii</i> Taylor	Fa.jam	1, 2
FISSIDENTACEAE	<i>Fissidens curvatus</i> Hornsch.	Fi.cur	1, 2
FISSIDENTACEAE	<i>Fissidens rigidulus</i> Hook.f. & Wilson	Fi.rig	1
FUNARIACEAE	<i>Funaria calvescens</i> Schwägr.	Fu.cal	1
LESKEACEAE	<i>Leskeadelphus angustatus</i> (Taylor) B.H.Allen	Le.ang	1
LEUCOBRYACEAE	<i>Campylopus cleefii</i> J.-P.Frahm	Ca.cle	2
LEUCOBRYACEAE	<i>Campylopus fragilis</i> (Brid.) Bruch & Schimp.	Ca.fra	2
LEUCOBRYACEAE	<i>Campylopus pauper</i> (Hampe) Mitt. var. <i>lamprodictyon</i> (Hampe) J.-P.Frahm	Ca.pau	2
LEUCOBRYACEAE	<i>Campylopus trivialis</i> Müll.Hal. ex E.Britton	Ca.tri	2
LEUCOBRYACEAE	<i>Campylopus zygodonticarpus</i> (Müll.Hal.) Paris	Ca.zyg	2
ORTHOTRICHACEAE	<i>Orthotrichum diaphanum</i> Schrad. ex Brid.	Or.dia	1
ORTHOTRICHACEAE	<i>Lewinskya pycnophylla</i> (Schimp.) F.Lara, Garilleti y Goffinet	Or.pyc	1
POLYTRICHACEAE	<i>Atrichum androgynum</i> (Müll.Hal.) A.Jaeger	At.and	1
POLYTRICHACEAE	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Po.jun	1, 2, 3
POTTIACEAE	<i>Didymodon australasiae</i> (Hook. & Grev.) R.H.Zander	Di.aus	1, 3
POTTIACEAE	<i>Didymodon rigidulus</i> Hedw.	Di.rig	1, 3

POTTIACEAE	<i>Didymodon icmadophilus</i> (Schimp. ex Müll.Hal.) Saito	Di.icm	1, 3
POTTIACEAE	<i>Didymodon tophaceus</i> (Brid.) Lisa	Di.top	1
POTTIACEAE	<i>Pleurochaete luteola</i> (Besch.) Thér.	Pl.lut	2
POTTIACEAE	<i>Pseudocrossidium replicatum</i> (Taylor) R.H.Zander	Ps.rep	1, 2, 3
POTTIACEAE	* <i>Streptopogon cavifolius</i> Mitt.	St.cav	1
POTTIACEAE	<i>Syntrichia amphidiacea</i> (Müll.Hal.) R.H.Zander	Sy.amp	1
POTTIACEAE	<i>Syntrichia fragilis</i> (Taylor) Ochyra	Sy.fra	1, 3
POTTIACEAE	<i>Tortula muralis</i> Hedw.	To.mur	3
POTTIACEAE	<i>Trichostomum brachydontium</i> Bruch	Tr.bra	2
SEMATOPHYLLACEAE	<i>Jirivanaea cuspidifera</i> (Mitt.) U.B.Deshmukh & Rathor	Se.cus	1, 2
SEMATOPHYLLACEAE	<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.) W.H.Welch & H.A.Crum	Se.swa	1
STREPTOTRICHACEAE	<i>Leptodontium capituligerum</i> Müll.Hal.	Le.cap	1, 2
HEPÁTICAS			
AYTONIACEAE	<i>Plagiochasma rupestre</i> (J.R.Forst. & G.Forst.) Steph.	Pl.rup	1
FRULLANIACEAE	<i>Frullania bogotensis</i> Steph.	Fr.bog	1
FRULLANIACEAE	<i>Frullania brasiliensis</i> Raddi	Fr.bra	2
FRULLANIACEAE	<i>Frullania cuencensis</i> Taylor	Fr.cue	1
FRULLANIACEAE	<i>Frullania ericoides</i> (Nees) Mont.	Fr.eri	1
FRULLANIACEAE	<i>Frullania obscura</i> (Sw.) Nees ex Mont.	Fr.obs	1, 2
FRULLANIACEAE	<i>Frullania pluricarinata</i> Gottsche	Fr.plu	1, 2, 3
FRULLANIACEAE	* <i>Frullania sphaerocephala</i> Spruce	Fr.sph	1, 2
FRULLANIACEAE	<i>Frullania standaertii</i> Steph.	Fr.sta	1, 2
FRULLANIACEAE	<i>Frullania tetraptera</i> Nees & Mont.	Fr.tet	1, 2
FRULLANIACEAE	<i>Frullania winteri</i> Steph.	Fr.win	1
LEJEUNEACEAE	<i>Brachiolejeunea laxifolia</i> (Taylor) Schiffn.	Br.lax	1
LEJEUNEACEAE	<i>Frullanoides densifolia</i> Raddi	Fr.den	1, 2
LEJEUNEACEAE	<i>Lejeunea acanthogona</i> Spruce	Le.aca	1
LEJEUNEACEAE	<i>Lejeunea cancellata</i> Nees & Mont.	Le.can	1, 2
LEJEUNEACEAE	<i>Lejeunea flava</i> (Sw.) Nees	Le.flu	1, 2
LEJEUNEACEAE	<i>Lejeunea laetevirens</i> Nees & Mont.	Le.lae	1
LEJEUNEACEAE	<i>Microlejeunea capillaris</i> (Gottsche) Steph.	Mi.cap	1, 2
LEJEUNEACEAE	<i>Microlejeunea diversiloba</i> (Spruce) Müll.Frib.	Mi.div	1
LOPHOCOLEACEAE	<i>Lophocolea bidentata</i> (L.) Dumort.	Lo.bid	2
LUNULARIACEAE	<i>Lunularia cruciata</i> (L.) Dumort. ex Lindb.	Le.cru	1
MARCHANTIACEAE	<i>Marchantia polymorpha</i> L.	Ma.pol	1
METZGERIACEAE	<i>Metzgeria agnewiae</i> Kuwah.	Me.agn	1, 2
METZGERIACEAE	<i>Metzgeria ciliata</i> Raddi	Me.cil	1
METZGERIACEAE	<i>Metzgeria crassipilis</i> (Lindb.) A.Evans	Me.cra	1
METZGERIACEAE	<i>Metzgeria scyphigera</i> A.Evans	Me.scy	1, 2
PLAGIOCHILACEAE	<i>Plagiochila deflexirama</i> Taylor	Pl.def	2
PLAGIOCHILACEAE	<i>Plagiochila macra</i> Taylor	Pl.mac	1
PLAGIOCHILACEAE	<i>Plagiochila punctata</i> (Taylor) Taylor	Pl.pun	2
ANTOCEROTES			
ANTHOCEROTACEAE	<i>Anthoceros lamellatus</i> Steph.	An.lam	1
NOTOTHYLADACEAE	<i>Phaeoceros laevis</i> (L.) Prosk.	Ph.lae	1

Fuente: elaboración propia.

Las familias con los mayores números de géneros y especies fueron Pottiaceae (7 géneros, 11 especies), Lejeuneaceae (4, 8), Bryaceae (2, 7), Brachytheciaceae (2, 4), Entodontaceae, Orthotrichaceae, Polytrichaceae y Sematophyllaceae (2, 2) cada una (Tabla 2). El 77.7% de las familias (21) están representadas por un género. Así mismo, 13.8% de las familias (11) se encuentran representadas por una especie (Tabla 1).

Tabla 2. Familias con mayor riqueza de géneros y especies de briófitos en el campus de la UPTC-Tunja

Familias	Número de géneros	Número de especies
Pottiaceae	7	11
Lejeuneaceae	4	8
Bryaceae	2	7
Brachytheciaceae	2	4
Entodontaceae	2	2
Orthotrichaceae	2	2
Polytrichaceae	2	2
Sematophyllaceae	2	2

Fuente: elaboración propia.

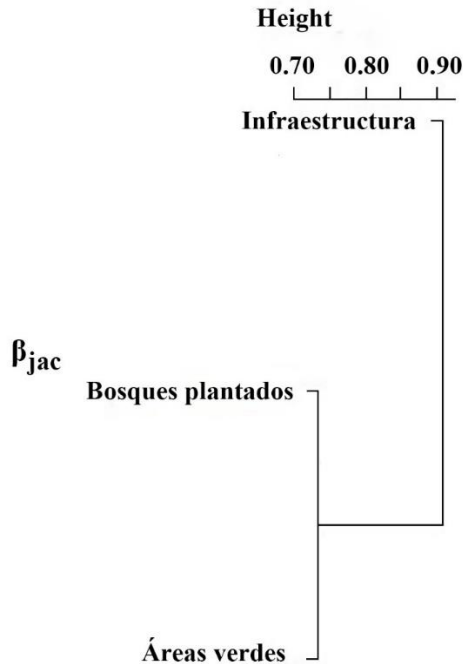
Los géneros con mayor riqueza de especies fueron *Frullania* (10), *Bryum* (6), *Campylopus* (5) y *Didymodon*, *Lejeunea* y *Metzgeria* (4 cada una); la mayoría de los géneros (85%) incluyen de una a tres especies. Las especies más frecuentes en el área de estudio son *Frullania pluricarinata* con el 6.7%, seguida por *Lejeunea flava* (4.6%), *Syntrichia fragilis* y *Metzgeria capillaris* (4.2% cada una), *Metzgeria scyphigera* y *Orthotrichum diaphanum* (3.5% cada una) y *Fabronia jamesonii* (3.2%); las demás especies se establecen en los diversos sustratos del campus universitario entre el 0.4% - 2.8%.

Disimilitud

A nivel general, el índice de Jaccard reveló una alta disimilitud entre las tres zonas de muestreo ($\beta_{jac} = 0.85$), la cual se debe principalmente por el recambio de especies ($\beta_{jtu} = 0.64$), y en una pequeña parte por el anidamiento ($\beta_{jne} = 0.21$). Comparando las tres áreas analizadas, se evidenció que la infraestructura es el área con una mayor diferencia en cuanto a la composición de especies respecto a los bosques plantados y a las zonas verdes (Figura 2), con las cuales comparte 8 especies, mientras que las zonas verdes y los bosques plantados comparten un total de 20 especies. El mayor recambio de especies se presentó entre los bosques plantados y la infraestructura

($\beta_{jt_u} = 0.84$), mientras que el anidamiento se evidenció en mayor medida entre la infraestructura y las áreas verdes ($\beta_{j_n} = 0.36$).

Figura 2. Dendrograma de disimilitud entre las zonas de muestreo dentro del campus de la UPTC-Tunja.



Fuente: elaboración propia.

Sustratos

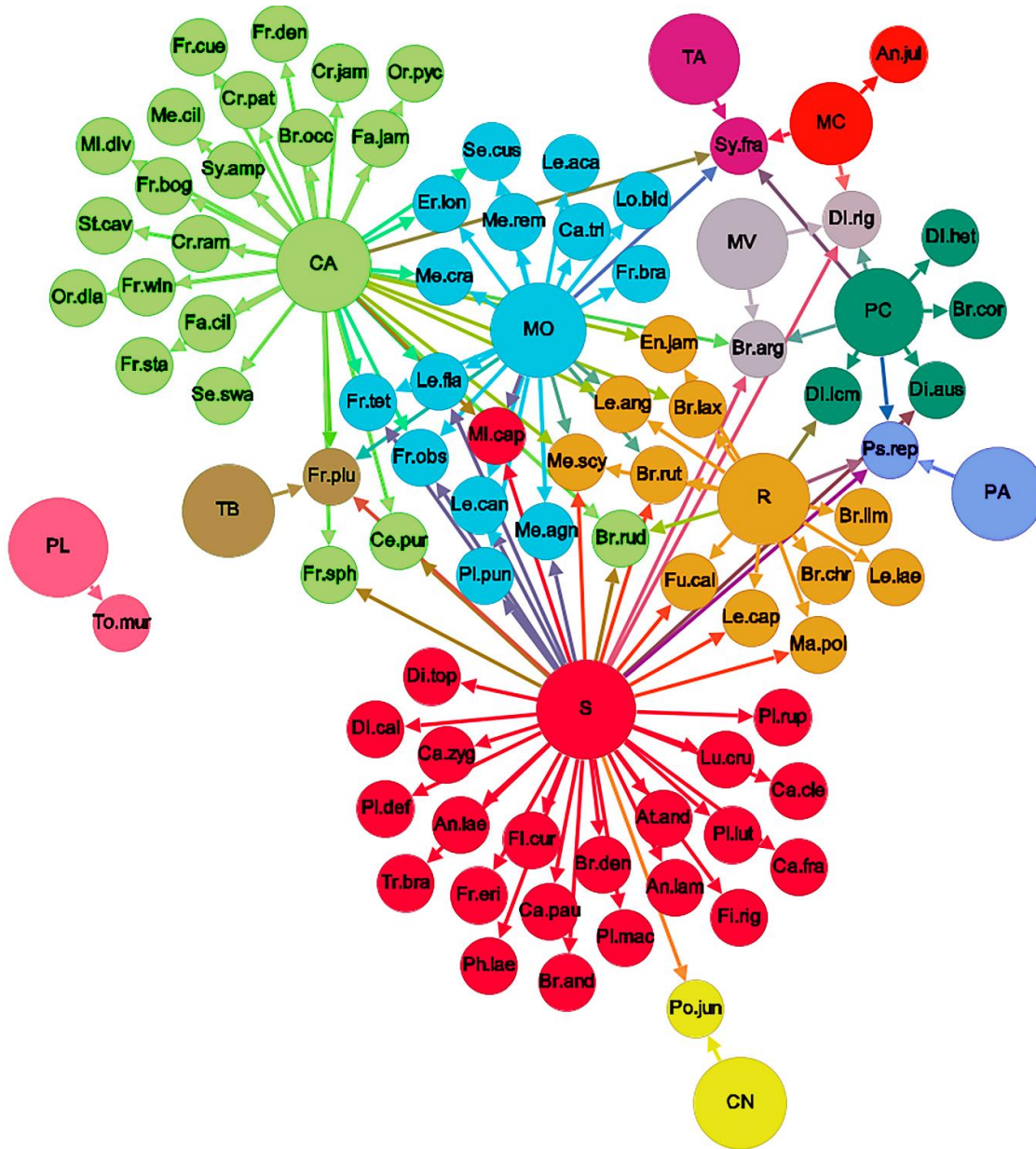
En cuanto a los sustratos, las especies de briófitos en el campus de la UPTC-Tunja se establecieron sobre 12 sustratos, de los cuales 8 son sustratos artificiales (teja de barro y asbesto, canaleta para agua, pared de adobe, ladrillo y concreto, marco de ventana, piso de concreto y postes de madera para cerca) y 4 son sustratos naturales (corteza de árboles y arbustos, roca, suelo y materia orgánica en descomposición). Los sustratos donde se encontraron el mayor número de especies de briófitos fueron el suelo (42), las cortezas de árboles y arbustos (35), la materia orgánica en descomposición (20) y las rocas (14). Los musgos dominaron sobre suelo, roca, pisos de concreto y postes de madera para cerca, mientras que las hepáticas concentraron mayor número de especies sobre la materia orgánica en descomposición (Figura 3).

El 62.5% de las especies mostró preferencia por alguno de los sustratos, de las cuales 23 especies (14 musgos, 7 hepáticas y 2 antocerotes) crecen sobre suelo; 18 especies (11 musgos y 7 hepáticas) se establecen sobre corteza de árboles y arbustos; 6 especies (4 hepáticas y 2 musgos) prefieren la materia orgánica en descomposición y 3 especies (2 musgos y 1 hepática) son exclusivas de roca. El 37.5% de los briófitos colonizan más de dos sustratos, destacándose *Syntrichia fragilis*, la cual se distribuye en 5 de ellos (Figura 3).

El 10.3% de las especies se distribuyeron sobre sustratos artificiales y se mostró especificidad en los grupos. En los espacios entre el vidrio y el marco de la ventana crecen los musgos, *Didymodon rigidulus* y *Bryum argenteum*; dentro de las canales para agua se encontró *Polytrichum juniperinum*; sobre tejas de barro, *Frullania pluricarinata*; sobre tejas de asbesto, *Syntrichia fragilis*; en paredes de adobe,

Pseudocrossidium replicatum, sobre postes de madera utilizados para cercar, *Didymodon rigidulus*, *Anomobryum julaceum* y *Syntrichia fragilis*; en ladrillos y muros de concreto, *Tortula muralis* y en los pisos de concreto *Bryum argenteum*, *Bryum coronatum*, *Dicranella heteromalla*, *Pseudocrossidium replicatum*, *Didymodon australasiae*, *Didymodon rigidulus* y *Syntrichia fragilis* (Figura 3).

Figura 3. Representación gráfica de la relación de los briófitos con los distintos tipos de sustratos en el campus de la UPTC-Tunja (S= Suelo, R= roca, MO= materia orgánica en descomposición, Ca= corteza de árboles y arbustos, Tb= teja de barro PI= pared de ladrillo y concreto, Cn= canaleta para agua, Pa= pared de adobe, Mv= marco de ventana, Ta= teja de asbesto, Pc= piso de concreto, Mc= postes de madera para cerca). Abreviaturas de las especies se indican en la Tabla 1.



Fuente: elaboración propia.

Briófitos epífitos

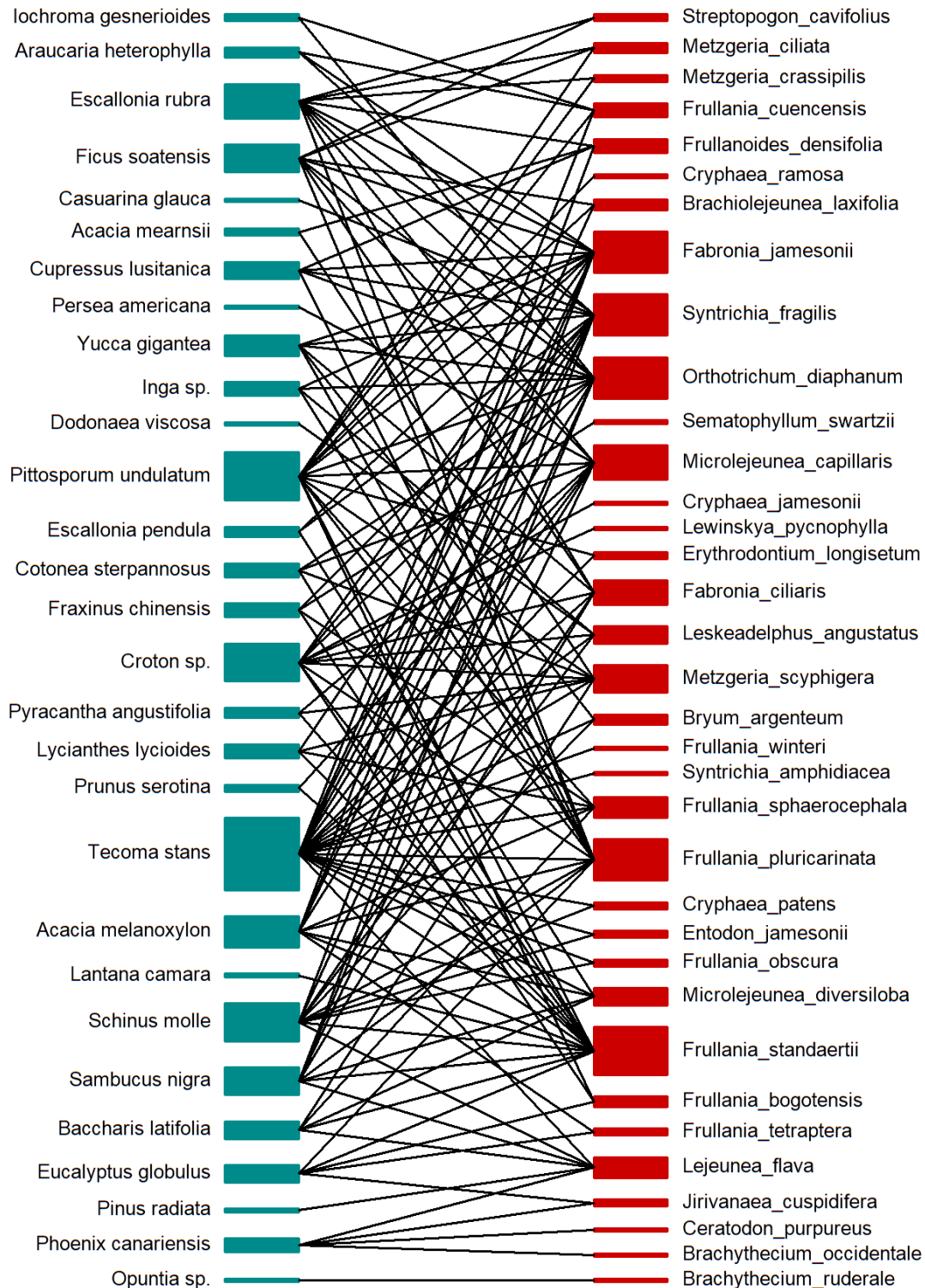
En el campus universitario se registraron 29 especies de plantas vasculares, 20 árboles y 9 arbustos (Tabla 3), donde se establecieron 35 especies de briófitos (19 musgos y 16 hepáticas). Los forófitos que albergan mayor número de especies de briófitos son: *Tecoma stans* (21), *Pittosporum undulatum* (14), *Schinus molle* y *Croton* sp. (11 cada una), *Escallonia rubra* (10), *Acacia melanoxylon* (9), *Ficus soatensis* y *Sambucus nigra* (8 cada una) y *Yucca gigantea* (6); en el 68.9% restante de las especies de plantas vasculares se establecen entre 1 y 5 especies de briófitos (Figura 4).

Tabla 3. Especies de plantas vasculares (forófitos) donde se establecieron las especies de briófitos en el campus de la UPTC-Tunja.

FOROFITO	HÁBITO
<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	Árbol
<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	Árbol
<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco	Árbol
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Arbusto
<i>Casuarina glauca</i> Sieber ex Spreng.	Árbol
<i>Cotoneaster pannosus</i> Franch.	Arbusto
<i>Croton</i> sp.	Árbol
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Árbol
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Arbusto
<i>Escallonia pendula</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Árbol
<i>Escallonia rubra</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Arbusto
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Árbol
<i>Ficus soatensis</i> Dugand	Árbol
<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Árbol
<i>Inga</i> sp.	Árbol
<i>Lochroma gesnerioides</i> (Kunth) Miers	Arbusto
<i>Lantana camara</i> L.	Arbusto
<i>Lycianthes lycioides</i> (L.) Hassl.	Arbusto
<i>Opuntia</i> sp.	Arbusto
<i>Persea americana</i> Mill.	Árbol
<i>Phoenix canariensis</i> Wildpret	Árbol
<i>Pinus radiata</i> D.Don	Árbol
<i>Pittosporum undulatum</i> Vent.	Árbol
<i>Prunus serótina</i> Ehrh.	Árbol
<i>Pyracantha angustifolia</i> (Franch.) C.K.Schneid.	Arbusto
<i>Sambucus nigra</i> L.	Árbol
<i>Schinus molle</i> L.	Árbol
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Árbol
<i>Yucca gigantea</i> Lem.	Árbol

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Representación gráfica de la interacción entre las especies de briófitos y las especies de forófitos presentes en el campus de la UPTC-Tunja.



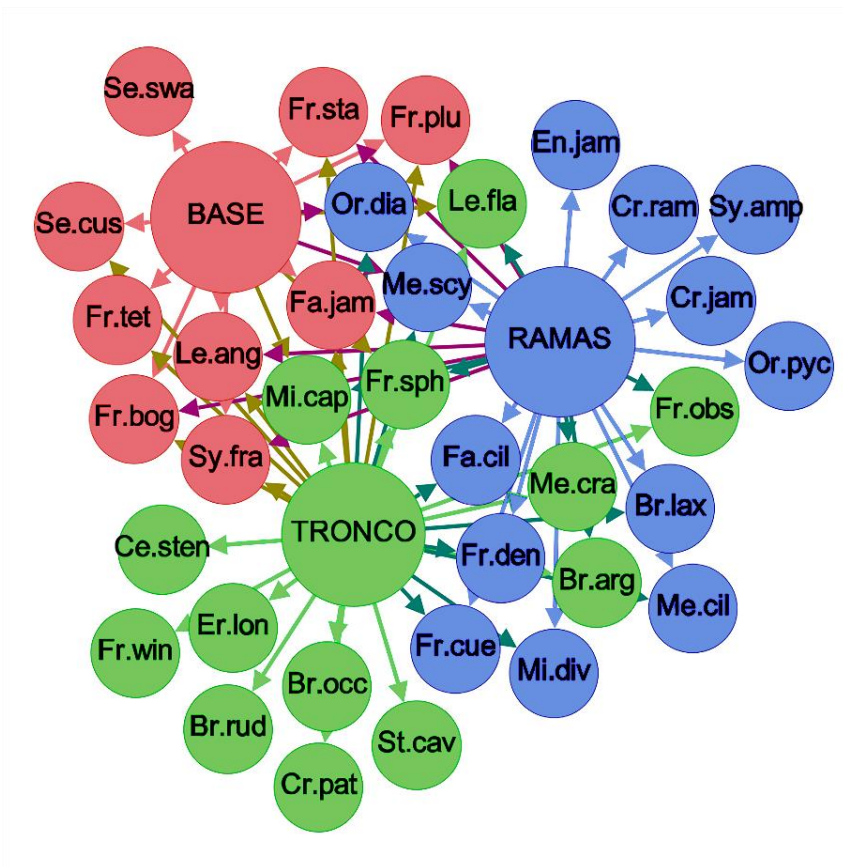
Fuente: elaboración propia.

Las formas de crecimiento de briófitos con más especies distribuidas sobre las cortezas de los árboles y arbustos son las hepáticas foliosas (13) y los musgos pleurocárpicos (12). Entre las especies de briófitos que presentan una amplia distribución, es decir que habitan en mayor número de especies de plantas vasculares se encuentran *Frullania standaertii* (14), *Frullania jamesonii*, *Frullania pluricarinata*, *Orthotrichum diaphanum* y *Syntrichia fragilis* (12 cada una) y *Metzgeria capillaris* (10). El 20% de los briófitos (8 musgos y 1 hepática) muestran especificidad por una especie de forófito, donde se destaca la asociación *Brachythecium ruderales* – *Opuntia sp.* (Figura 4).

Estratificación vertical

El mayor número de briófitos se encontró sobre el estrato tronco (29 especies), seguido de las ramas con (25) y la base con (14). Las especies de briófitos presentes en los tres estratos (generalistas), correspondieron al 16.2%; mientras que, aquellas que mostraron especificidad para el estrato tronco fue del 24.1% de las especies (6 musgos y 1 hepática), para las ramas el 20% (5 musgos) y para la base, 7.1% (1 musgo). Entre los estratos se identificaron especies compartidas, la base y el tronco, que compartieron el 4.6% de las especies, representadas por *Frullania tetraptera* y *Jirivanaea cuspidifera*, el tronco y las ramas, donde se compartieron el 16.9% (7 hepáticas y 2 musgos) (Figura 5).

Figura 5. Representación gráfica de la relación de los briófitos con la estratificación de los forófitos (base, tronco, ramas). Abreviaturas de las especies se indican en la Tabla 1.



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Riqueza

La flora briofítica en el campus de la UPTC-Tunja representa el 13.6% de las especies reportadas para el departamento de Boyacá (Churchill, 2016; Gradstein, 2021; Aponte *et al.* 2022). Al comparar estos resultados con otras investigaciones realizadas en ambientes urbanos se obtienen similitudes, en la mayor cantidad de especies de musgos sobre hepáticas y antocerotes (Yano & Câmara, 2004, Stevenson & Hill, 2008; Sabovljević & Grdović, 2009; Machado & Luizi-Ponzo, 2011; Quiñones *et al.* 2021); en el mayor número de musgos acrocárpico sobre pleurocárpico (Durwael & Lock, 2000; Ardiles & Peñaloza, 2013; Zepeda-Gómez *et al.*, 2014); en las familias más diversas, Pottiaceae, Bryaceae, Brachytheciaceae (Lara *et al.*, 1991; Giudice *et al.*, 1997; Kirmaci & Ağcagil, 2009) y Lejeuneaceae (Bastos & Bôas-Bastos, 2000; Câmara & Vital, 2004; Paiva *et al.*, 2015) y en los géneros más representativos, como el caso de *Frullania*, *Lejeunea* (Yano, 2012), *Bryum* y *Didymodon* (Ron *et al.*, 2008).

Los musgos representaron el 61% de la riqueza total, mostrándose dominantes sobre las hepáticas y los antocerotes, tal como se evidencia en los trabajos de Giudice *et al.*, (1997), Stevenson & Hill (2008), Ardiles & Peñaloza (2013) y Quiñones *et al.* (2021), quienes reportan entre un 65% y un 92% de representatividad por parte de los musgos en la brioflora urbana. Según Heras & Soria (1990), los musgos, especialmente los de crecimiento acrocárpico, suelen ser tolerantes a las condiciones de las ciudades encontrándose fácilmente en ambientes secos sobre suelo y rocas, mientras que los de crecimiento pleurocárpico suelen encontrarse en ambientes más húmedos como la corteza de los árboles en los jardines de las ciudades; además, indican que las hepáticas son el grupo más sensible a la sequía y a la contaminación, explicando su baja presencia en el medio urbano. Por su parte, el grupo de los antocerotes es el más pequeño dentro de los briófitos, representado en Colombia únicamente por 15 especies (Gradstein *et al.*, 2001), que rara vez son registradas en las ciudades, siendo el trabajo realizado por Quiñones *et al.* (2021) el único que reporta este grupo, lo que evidencia la importancia de su registro en el campus de la UPTC-Tunja.

Disimilitud

Los resultados del índice de disimilitud de Jaccard indicaron que la composición de especies de las tres áreas estudiadas es altamente diferente entre ellas, compartiéndose un mayor número de especies entre las áreas verdes y los bosques plantados que con las áreas urbanizadas. Estos resultados concuerdan con el comportamiento esperado, pues de acuerdo con Giudice *et al.* (1997), los ambientes urbanos únicamente permiten el establecimiento de especies tolerantes a condiciones particulares tales como la química de los sustratos artificiales, la presencia de contaminantes atmosféricos y la pérdida de humedad, evitando que especies sensibles que se encuentran en los bosques y las áreas verdes puedan colonizar las áreas construidas.

Las áreas verdes albergan una amplia variedad de ambientes y de especies de árboles y arbustos nativos e introducidos, en contraste con los bosques plantados que son altamente homogéneos, con especies introducidas como eucalipto, acacia y pino, con suelos áridos y una estructura vertical pobre que ofrece pocos microhábitats para el establecimiento de briófitos. La sensibilidad de los briófitos a cambios en las condiciones microclimáticas (Guerra *et al.*, 2020; Peñate-Pacheco *et al.*, 2022), sumada a las evidentes discordancias entre los dos ambientes, son factores que determinan las diferencias en la composición de la brioflora en las áreas de muestreo.

Por otra parte, el análisis particionado de los componentes de recambio y anidamiento, evidenciaron que la disimilitud en la composición de especies está dada principalmente por el recambio de especies, componente que generalmente se relaciona con gradientes ambientales (Calderón-Patrón *et al.*, 2012), demostrando que el proceso de urbanización se comporta como un filtro en el establecimiento de las especies de briófitos.

La elevada diversidad presente en las zonas verdes coincide con los registros de Heras & Soria (1990) y Lara *et al.* (1991) quienes encontraron una mayor diversidad en los parques y jardines en las ciudades de Victoria Gasteiz y Segovia, España. En el campus de la UPTC, este resultado puede relacionarse directamente ya que los jardines y áreas verdes albergan una mayor diversidad de ambientes y de especies de forófitos, además ocupan la mayor área dentro del campus (453.983 m²) y se encuentran en gran parte en proximidad al río La Vega, siendo esta la única fuente hídrica permanente. Heras & Soria (1990) indican que la diversidad briológica de una ciudad depende en gran parte de la presencia de zonas verdes y de la amplitud de estas, lo que invita a darle una mayor importancia a la conservación de estas zonas y a un control más cuidadoso del tipo de limpiezas y podas que se realizan en estos lugares.

Sustratos

Los sustratos naturales (suelo, corteza y materia orgánica en descomposición) albergan una mayor diversidad de especies de briófitos en comparación con los sustratos artificiales, resultados que son similares a los obtenidos por Machado & Luiz-Ponzo (2011). El suelo presenta la mayor riqueza de briófitos en el campus de la UPTC-Tunja, concentrándose el mayor número de especies en zonas de bosques plantados y áreas verdes apartadas de la infraestructura. Las especies *Anthoceros vinctianus*, *Phaeoceros carolinianus*, *Marchantia polymorpha*, *Lunularia cruciata* y *Polytricum juniperinum* son frecuentes en materas y bolsas para siembra en el vivero en donde el riego constante y la protección de luz directa favorecen el establecimiento y desarrollo de estas especies. Según Cornelissen & Steege (1989), las condiciones de humedad y los rayos solares directos intervienen en el establecimiento de los briófitos, pues las condiciones de baja humedad y alta radiación son toleradas únicamente por algunas pocas especies con adaptaciones particulares. Por otra parte, un número limitado de especies crece en el “suelo” de la infraestructura, en ambientes expuestos, donde en las esquinas de paredes, bordes de los andenes y escaleras de concreto, la acumulación de polvo permite que se establezcan pequeños musgos en forma de colchones (*Bryum argenteum*) y tepes cortos (*Ceratodon stenocarpus*, *Didymodon tophaceus*, *Funaria calvescens*, *Pseudocrossidium replicatum*); hábitos de crecimiento, que de acuerdo con Kürschner (2004), se encuentran frecuentemente en hábitats soleados, secos y xéricos.

De acuerdo con Isermann (2007), las áreas urbanas son importantes para la diversidad de especies, donde se encuentran briófitos capaces de crecer bajo condiciones específicas. Entre los factores que determinan la riqueza de especies se destacan, la diversidad de hábitats, el tipo de sustrato y el microclima (Zechmeister *et al.*, 2003). Por tanto, la alteración de alguno de estos factores representa una disminución considerable en la riqueza de especies de briófitos para el área de estudio, la cual está en constante amenaza debido a las podas realizadas a árboles y arbustos presentes en los jardines, evitando que los árboles mantengan un dosel denso y permanente, con un microambiente propicio para el establecimiento y desarrollo de una brioflora más diversa (Zepeda-Gómez *et al.*, 2014). Otro aspecto que podría influir en la

disminución de la riqueza de briófitos en el campus universitario es la limpieza de sitios en la infraestructura como grietas de las escaleras y pisos de concreto, bordes de los andenes y paredes de ladrillo, donde crece frecuentemente *Tortula muralis*, la cual se reporta como primer registro para Colombia en Ellis *et al.* (2021).

Briófitos epífitos

Típicamente las zonas urbanas carecen de amplias colonias de briofitas (Zepeda-Gómez *et al.*, 2014), la abundancia y diversidad briológica en ellas depende mucho de lo numerosas que sean las zonas verdes, así como de su tamaño y de su flora vascular (Heras & Soria, 1990).

En el campus de la UPTC-Tunja se encuentran bosques plantados de pino, eucalipto, ciprés y acacia donde la riqueza de los briófitos epífitos es menor con relación a aquella presente sobre la vegetación vascular de las zonas verdes, resultado que coincide con lo expresado por Schofield (1985), quien afirma que los epífitos tienden a ser más abundantes en bosques de angiospermas que de gimnospermas.

Las especies de plantas vasculares que concentran la mayor cantidad de especies de briófitos son las más abundantes en el campus universitario. Otras especies de plantas nativas como *Inga* sp., *Croton* sp. y *Baccharis latifolia*, que son poco frecuentes dentro del campus, albergan más especies de briófitos en comparación con especies foráneas que tienen más individuos como *Fraxinus chinensis*. Por otra parte, en especies de plantas con corteza rugosa o áspera, como *Tecoma stans*, *Schinus molle* y *Sambucus nigra*, se establece un mayor número de especies de briófitos con relación a aquellas plantas que presentan cortezas lisas como *Escallonia pendula*, *Cotoneaster panosus*, *Pyracantha angustifolia* y *Lycianthes lycioides*. Según observaciones realizadas por Gu *et al.* (2022), la diversidad de briófitos aumenta a medida que la corteza de los árboles se vuelve más rugosa.

Las formas de crecimiento que predominan sobre los forófitos son los tapetes o esteras, como el caso de las familias Frullaniaceae, Lejeuneaceae, Metzgeriaceae, Entodontaceae, Fabroniaceae y Leskeaceae, las cuales, según Glime (2017b), dependen de los espacios capilares para retener el agua y de esta forma prolongar sus periodos de actividad. En el presente estudio, las familias Lejeuneaceae y Frullaniaceae son las dominantes en las cortezas de árboles y arbustos dentro del campus universitario, resultado que coincide con las investigaciones de Molinaro & Costa (2001) y Paiva *et al.* (2015).

Estratificación vertical

El estrato con mayor riqueza de especies es el tronco, resultado concordante con lo reportado por Cornelissen & Steege (1989), quienes estudiaron la estratificación vertical de briófitos y líquenes epífitos en Guyana, encontrando una mayor riqueza de musgos en el tronco. Sin embargo, contrasta con los registros en áreas naturales de Gil & Morales (2014) y Rodríguez & Gómez (2019), quienes encontraron una mayor diversidad en la base de los árboles y a lo reportado por Gehrig-Downie *et al.* (2013), quienes reportan un aumento de especies en los estratos más altos del árbol. La distribución vertical de especies se encuentra altamente relacionada con la humedad relativa y la incidencia de luz solar (Cornelissen & Steege, 1989; Mota *et al.*, 2009), pues si bien hay especies tolerantes a la sequía y a la radiación directa, otras prefieren estratos húmedos y sombríos (Rodríguez & Gómez, 2019). Lo anterior corrobora las observaciones realizadas en el presente estudio, como en el caso de *Bryum argenteum*,

Syntrichia spp. y *Orthotrichum* spp., que son especies frecuentes en espacios abiertos con alta incidencia solar y *Metzgeria* spp., que se encuentran en lugares protegidos y con alta humedad. Estudios realizados por Giudice *et al.* (1997) en la ciudad de Sicilia, encontraron que las especies se distribuyen en dos grupos marcados separados por el nivel de humedad, en donde las bases de los árboles se reconocen como ambientes xéricos, reportando una mayor relación entre las especies de este estrato con las especies saxícolas y terrestres que con las especies que se encuentran en los demás estratos de los árboles. En el campus de la UPTC-Tunja, se evidencia una condición similar, pues los forófitos se encuentran aislados haciendo que la base de los troncos se encuentre desprotegida, con poca sombra y por lo tanto con menor humedad que las demás zonas del árbol, razón por la cual pocas especies se distribuyen en esta zona de los árboles (Figura 5) y se encuentran frecuentemente a partir de 1 m de altura. Las ramas en algunos casos brindan ambientes adecuados para el establecimiento de especies y evidencian una distribución de especies entre el tronco y el dosel, como en *Tecoma stans*, donde las especies *Frullania pluricarinata*, *Frullania cuencensis*, *Frullania standaertii*, *Leskeadelphus angustatus*, *Metzgeria capillaris*, *Syntrichia fragilis*, *Orthotrichum diaphanum* y *Fabronia* spp. se comparten entre estos estratos. De acuerdo con Zepeda-Gómez *et al.*, (2014), las podas a las plantas de los jardines ocasionan un cambio en la densidad del dosel, modificando las condiciones microclimáticas para las especies, aumentando la incidencia de la luz solar, lo cual puede ocasionar una disminución en la riqueza de especies, especialmente en el estrato superior de los árboles. Esto se evidencia en individuos de *Pittosporum undulatum*, en donde la mayoría de las especies de briófitos se distribuyen en el tronco (22) y muy pocas especies sobre las ramas (3). Las podas generan nuevas ramas cuya corteza es lisa, impidiendo el establecimiento de briófitos, pero producen copas frondosas que proveen sombra a la parte del tronco.

CONCLUSIONES

Esta investigación contribuye al conocimiento de los briófitos urbanos en el país, aumenta en 63 especies el inventario de briófitos presentes en la ciudad de Tunja con relación a trabajos anteriores y resalta la presencia de cuatro registros nuevos para el departamento de Boyacá. En el área de estudio se encontraron las especies *Bryum argenteum*, *Brachythecium rutabulum*, *Didymodon rigidulus*, *Frullania pluricarinata*, *Lejeunea cancellata*, *Lejeunea flava*, *Lejeunea laetevirens*, *Lunularia cruciata*, *Marchantia polymorpha*, *Orthotrichum diaphanum* y *Tortula muralis*, que son consideradas como elementos típicos de espacios urbanos.

Una planeación adecuada en los procesos de urbanización que incluya amplias zonas verdes utilizando especies de plantas vasculares nativas, generan condiciones óptimas que favorecen la abundancia y diversidad de briófitos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer protocolos de recolección de material vegetal, previos a la limpieza de las superficies típicas de las áreas urbanas para evitar la pérdida de diversidad de briófitos del país. Es posible que especies aún no reportadas para Colombia o no conocidas para la ciencia se encuentren en estos sustratos artificiales. De igual manera, se recomienda evitar las podas innecesarias a los árboles y arbustos de la UPTC. Las copas frondosas sirven de barrera contra los rayos directos del sol y el

viento evitando que se afecte la diversidad y cobertura de las especies de briófitos que allí se encuentran y proporcionando un microclima óptimo para su establecimiento y desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos agradecer al Dr. Jaime Uribe por la confirmación de algunas especies del género *Frullania*. Al Dr. Luis Antonio González y al biólogo Daniel Galindo por la asesoría en la estructuración de los análisis estadísticos. A la ingeniera forestal Celeste Montilla por la elaboración del mapa. Esta investigación se realizó bajo el número de permiso 3524 de 2014 y número de expediente PEFI-0004/14 expedido por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), referente al Permiso de Estudio con Fines de Investigación Científica en Diversidad Biológica.

REFERENCIAS

Allen, B. (1994). *Moss flora of Central America. Part 1. Sphagnaceae-Calymperaceae*. (pp. 242). Missouri Botanical Garden Press.

Allen, B. (2002). *Moss flora of Central America. Part 2. Encalyptaceae-Orthotrichaceae*. (pp. 699). Missouri Botanical Garden Press.

Allen, B. (2010). *Moss flora of Central America. Part 3. Anomodontaceae - Symphyodontaceae*. (pp. 731). Missouri Botanical Garden Press.

Allen, B. (2018). *Moss flora of Central America. Part 4. Fabroniaceae-Polytrichaceae*. (pp. 830). Missouri Botanical Garden Press.

Álvaro Alba, W.R., Becerra Infante, D.A. y Cárdenas Espinosa, K.A. (2019). *Briófitos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Guía No. 1194. <https://fieldguides.fieldmuseum.org/es/gu%C3%ADas/gu%C3%ADa/1194>

Aponte, A. y Uribe-M., J. (2017). Revisión de la familia Polytrichaceae (Bryophyta) para Colombia. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(2), 209-250. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v52.n2.17438>

Aponte-R, A. M, Álvaro-A, W. R. y Uribe-M., J. (2022): Checklist of the Bryophytes of Boyacá (Colombia). *Frahmia*, 26, 1-50.

Ardiles, V. y Peñalosa, A. (2013). Briófitas del área urbana de Santiago de Chile: Especies, hábitats y consideraciones para su conservación. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural*. 62, 95-117. <https://doi.org/10.54830/bmnhn.v62.2013.150>

Baselga, A., Orme, D., Villeger, S., De Bortoli, J., Leprieur, F., Logez, M., Martínez-Santalla, S., Martín-Devasa, R., Gómez-Rodríguez, C. y Crujeiras, R. (2023). Betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness. *Components_*. R package version 1.6.

Bastian, M., Heymann, S., y Jacomy, M. (2009). Gephi: an open-source software for exploring and manipulating networks. *In Proceedings of the international AAAI conference on web and social media*, 3(1), 361-362. <https://doi.org/10.1609/ic-wsm.v3i1.13937>

Bastos, C.J.P., y Bôas-Bastos, S.B. (2000). Some new additions to the hepatic flora (Jungermanniophyta) for the state of Bahia, Brazil. *Tropical Bryology*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.11646/BDE.18.1.2>

Butts, C. (2008). Network: a Package for Managing Relational Data in R. *Journal of Statistical Software*, 24(2), 1-36. <https://doi.org/10.18637/jss.v024.i02>

Calderón-Patrón, J.M., Moreno, C.E., y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 879–891. <https://doi.org/10.7550/rmb.25510>

Câmara, P.E.A.S. y Vital, D.M. (2004). Briófitas do município de Poconé, Pantanal de Mato Grosso, MT, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 18(4), 881-886. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000400019>

Casas Sicart, C. y Sáiz-Jiménez, C. (1982). Los briófitos de la catedral de Sevilla. *Collectanea Botánica*, 13(1), 163-175.

Churchill, S. P., y Linares, E. (1995). *Prodromus Bryologiae Novo-Granatensis. Introducción a la flora de musgos de Colombia*. (pp. 1-924). Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, de Bogotá.

Churchill, S.P. (2016). Bryophyta (Musgos). En: Bernal, R., Gradstein, S.R., y Celis, M. (eds), Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. (pp. 353-442). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, de Bogotá.

Cornelissen, J.H.C. y Steege, H. T. (1989). Distribution and ecology of epiphytic bryophytes and lichens in dry evergreen forest of Guyana. *Journal of Tropical Ecology*, 5(2), 131–150. <https://doi.org/10.1017/S0266467400003400>

Cutz, L.Q., García, A., Castaño, G. y Palacios, J.G. (2010). Diversidad de Invertebrados de musgos corticícolas en la región del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 90-95. <https://doi.org/10.25100/socolen.v36i1.9127>

Dormann, C.F., Gruber B. y Freund, J. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *interaction*, 1(0.2413793), 8-11.

Durwael, L. y Lock, K. (2000). Epiphytic bryophytes in the city of Ghent. *Belgian Journal of Botany*, 133(1-2), 84-90. <http://www.jstor.org/stable/20794465>.

Ellis, L.T., Alataş, M., Aleffi, M., Álvaro Alba, W. R., Becerra Infante, D. A., Cárdenas Espinosa, K. A., Aziz, Md N., Bakalin, V.A., Bergamo Decarli, G., Boiko, M., Zagorodniuk, N., Boiko, L. M., Borovichev, E. A., Brusa, G., Cano, M.J., Jiménez, J.A., Choi, S.S., Draper, I., Lara, F., Dunlin, M.V., Enroth, J., Ezer, T., Fedosov, V.E., Fuertes, E., Garilleti, R., Albertos, B., Gradstein, S.R., Graulich, A., Hugonnot, V., Hyun, C.W., Kirmacı, M., Filiz, F., Çatak, U., Konstantinova, N.A., Savchenko, A.N., Kropik, M., Kučera, J., Kürschner, H., Yu. Kuzmina, E., Liksakova, N.S., Maity, D., Martin, P., McIntosh, T.T., van Melick, H.M.H., Moncada, B., Németh, Cs., O’Leary, S.V., Peñaloza-Bojacá, G.F., Maciel-Silva, S.A., Poponessi, S., Cogoni, A., Porley, R.D., Potemkin, A.D., Puglisi, M., Sciandrello, S., Rawat, K.K., Sahu, V., Paul, R.R., Ryan, M., Saha, P., Salas, D.S., Segarra-Moragues, J.G., Sguazzin, F., Shafigullina, N.R., Shevock, J.R., Ștefănuț, S., Uygur, A., Karaman Erkul, S., Ursavaş, S., Özen, A., Zechmeister, H.G. y Zander, R.H. (2021). New national and regional bryophyte records, 66. *Journal of Bryology*, 43(2), 193-212. <https://doi.org/10.1080/03736687.2021.1942590>

Gehrig-Downie, C., Obregon, A., Bendix, J., y Gradstein, R. (2013). Diversity and vertical distribution of epiphytic liverworts in lowland rain forest and lowland cloud forest of French Guiana. *Journal of Bryology*, 35(4), 243–254. <https://doi.org/10.1179/1743282013Y.0000000070>

Gil Novoa, J.E. y Morales Puentes, M.E. (2014). Estratificación vertical de briófitos epífitos encontrados en *Quercus humboldtii* (Fagaceae) de Boyacá, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 719-727. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.8482>

Giudice, R. L., Mazimpaka, V. y Lara, F. (1997). The urban bryophyte flora of the city of Enna (Sicily, Italy). *Nova Hedwigia*, 64(1-2), 249-265. <https://doi.org/10.1127/nova.hedwigia/64/1997/249>.

Glime, J.M. (2007). Economic and ethnic uses of bryophytes. In: Zander, R.H, (ed.). *Flora of North America North of Mexico*. (pp. 14-41). Oxford University Press.

Glime, J.M. (2017a). *Life Cycles: Surviving Change*. Chapt. 2-2. In: Glime, J. M. *Bryophyte Ecology*. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>.

Glime, J.M. (2017b). *Adaptive Strategies: Growth and Life Forms*. Chapt. 4-5. In: Glime, J.M. *Bryophyte Ecology*. Vol. 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>

Gradstein, S. R. (2021). *The liverworts and hornworts of Colombia and Ecuador*. (pp. 723). *Memoirs of the New York Botanical Garden* 121. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49450-6>

Goffinet, B. y Buck, W.R. (2020). *Classification of the Bryophyta*. <http://bryology.uconn.edu/classification/>.

Gu, J., Song, X., Liao, Y., Ye, Y., Wang, R., Ma, H., y Shao, X. (2022). Tree species drive the diversity of epiphytic bryophytes in the Alpine Forest ecosystem: A case study in Tibet. *Forests*, 13, 21-54. <https://doi.org/10.3390/f13122154>.

Guerra, G., Arrocha, C., Rodríguez, G., Déleg, J., y Benítez, Á. (2020). Briófitos en los troncos de árboles como indicadores de la alteración en bosques montanos de Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 492–502. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.38965>

Heras, P. y Soria, A. (1990). Musgos y hepáticas urbanos de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. *Sociedad de Estudios Vascos. Cuadernos de Sección Ciencias Naturales*, 7, 75-116.

IDEAM, (s.f.). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

Isermann, M. (2007). Diversity of bryophytes in an urban area of NW Germany. *Lindbergia*, 32, 75-81. <http://www.jstor.org/stable/20150241>.

Kirmaci, M., y Ağcagil, E. (2009). The bryophyte flora in the urban area of Aydin (Turkey). *International Journal of Botany*, 5, 216-225. <https://doi.org/10.3923/ijb.2009.216.225>.

Kürschner, H. (2004). Life Strategies and Adaptations in Bryophytes from the Near and Middle East. *Turkish Journal of Botany*, 28, 73-84.

Lara, F., López, C. y Mazimpaka, V. (1991). Ecología de los briófitos urbanos en la ciudad de Segovia (España). *Cryptogamie. Bryologie, Lichénologie*, 12(4), 425-439.

Machado, P.S. y Luizi-Ponzo, A.P. (2011). Urban bryophytes from a Southeastern Brazilian area (Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil). *Boletim do Instituto de Botânica*, 21, 223-261.

Molinari, L.C. y Costa, D.P. (2001). Briófitas do Arboreto do jardim Botânico do Rio de Janeiro. *Rodriguésia*, 52 (81), 107-124. <https://doi.org/10.1590/2175-78602001528105>.

Mota de Oliveira, S., Ter Steege, H., Cornelissen, J.H.C. y Gradstein, R. (2009). Niche assembly of epiphytic bryophyte communities in the Guianas: a regional approach. *Journal of Biogeography*, 36, 2076–2084.

Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., Evangelista, H., FitzJohn, R., Friendly, M., Furneaux, B., Hannigan, G., Hill, M., Lahti, L., McGlenn, D., Ouellette, M., Ribeiro Cunha, E., Smith, T., Stier, A., Ter Braak, C. y Weedon, J. (2022). Package 'vegan': Community Ecology Package. R package version 2.6-4, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Paiva, L. A., da Costa Silva, J., de Almeida Passarella, M. y Luizi-Ponzo, A. P. (2015). Briófitas de um fragmento florestal urbano de Minas Gerais (Brasil). *Pesquisas, Botânica*, 67, 181-199.

Peñate-Pacheco, L., Gil-Novoa, J.E. y Carrillo-Fajardo, M.Y. (2022). Diversidad taxonómica y funcional de briófitos en diferentes coberturas de un bosque seco tropical, Córdoba (Colombia). *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 57(4), 1–10. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n4.36922>

Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Childers, D.L., McDonnell, M.J., y Zhou, W. (2016). Evolution and future of urban ecological science: ecology in, of, and for the city. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(7), e01229. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1229>

Poumanyong, P., y Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.029>

Quiñones, J. D., Rodas, L. A., y Mopan, A. M. (2021). Ecología e composição briofítica de uma floresta urbana da central Cordillera de Los Andes, Colômbia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5194-5214. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-025>.

R Core Team (2023) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rodríguez, C.E. y Gómez, D.G. (2019). Briófitos epífitos de la Reserva Forestal Fortuna: perspectiva de la riqueza de familias y géneros a partir de un árbol. *Puente Biológico*, 9(1), 15-35.

Ron, E., Soria, A., Ballesteros, T., Gómez, D. y Fernández, F. (2008). Flora briofítica de las ciudades de Toro y Benavente (Zamora, España). *Botánica Complutensis*, 32,63-68.

<https://revistas.ucm.es/index.php/BOCM/article/view/BOCM0808110063A>

Rubiano, L.J. y Chaparro de Valencia, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional De Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos). *Acta Biológica Colombiana*, 11, 82–102.

Ruiz, M., Rubiano, N., González, A., Lulle, T., Bodnar, Y., Velásquez, S., Cuervo, S. y Castellanos, E. (2007). *Ciudad, espacio y población: el proceso de urbanización en Colombia*. (pp. 1-70). Centro de Investigación sobre Dinámica Social. Universidad Externado de Colombia.

Sabovljević, M. S. y Grdović, S. (2009). Bryophyte diversity within urban areas: case study of the city of Belgrade (Serbia). *International Journal of Botany*, 5(1), 85-92. <https://doi.org/10.3923/ijb.2009.85.92>.

Sameño, M. (2018). El biodeterioro en edificios del patrimonio cultural. Metodología de evaluación de tratamientos biocidas. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Satake, K. y Miyasaka, K. (1984). Evidence of high mercury accumulation in the cell wall of the liverwort *Jungermannia vulcanicola* Steph. to form particles of a mercury-sulphur compound. *Journal of Bryology*, 13(1), 101–105. <https://doi.org/10.1179/jbr.1984.13.1.101>.

Schofield, W.B. (1985). *Introduction to bryology*. (pp 431). Macmillan Publishing Company.

Simijaca-Salcedo, D.F., Vargas-Rojas, D.L. y Morales-Puentes, M.E. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 19(2), 221-232. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n2.40681>.

Soria, A. y Ron, M.E. (1990). Datos para el conocimiento de la flora briofítica urbana de la ciudad de Logrono. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 46 (2), 427-432.

Stevenson, R. C., y Hill, M. O. (2008). Urban myths exploded: results of a bryological survey of King's Lynn (Norfolk, UK). *Journal of bryology*, 30(1), 12-22. <https://doi.org/10.1179/174328208X282111>

Terradas, J., Franquesa, T., Parés, M. y Chaparro, L. (2011). Ecología urbana. *Investigación y Ciencia*, 422, 52-58.

UPTC y ICAH. (2006). *Plan de Manejo del patrimonio arqueológico en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en Tunja, Sogamoso y Villa de Leyva*. (pp. 1-98). http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/direccion_extension/documentos/plan_manejo.pdf

Vélez-Henao, J.A. (2020). Does urbanization boost environmental impacts in Colombia? An extended STIRPAT–LCA approach. *Quality & Quantity*, 54(3), 851-866. <https://doi.org/10.1007/s11135-019-00961-y>

Yano, O., y Câmara, P. E. A. (2004). Briófitas de Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 34 (3), 445-457.

Yano, O. (2012). Catálogo das briófitas (antóceros, hepáticas e musgos) do estado do Espírito Santo, Brasil. *Pesquisas, Botânica*, 63, 55-140. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300010>

Zapata-Muñoz, Y.L., Trujillo-González, J.M. y Torres-Mora, M.A. (2018). Distribución espacial del plomo (Pb) en el municipio de Villavicencio usando briófitos como medio de verificación de la calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 269–280. <https://doi.org/10.22490/21456453.2167>.

Zander, R.H. (1993). *Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments*. (pp. 1-378). Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences. Buffalo Society of Natural Sciences.

Zechmeister, H. G., Tribsch, A., Moser, D., Peterseil, J. y Wrbka, T. (2003). Biodiversity ‘hot spots’ for bryophytes in landscapes dominated by agriculture in Austria. *Agriculture, ecosystems & environment*, 94(2), 159-167. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00028-2).

Zepeda-Gómez, C., Ávila-Pérez, P., Díaz-García, U. S., Alanís-Martínez, Y., Zarazúa-Ortega, G. y Amaya-Chávez, A. (2014). Diversidad de musgos epífitos de la zona metropolitana del valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 108-124. <https://doi.org/10.7550/rmb.31834>.