ESTUDIO DEL GÉNERO *Graphis* EN EL BOSQUE SECO TROPICAL DEL MUNICIPIO DE GIRARDOT- CUNDINAMARCA, COLOMBIA, COMO MODELO DE ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD POR CAMBIO CLIMÁTICO

CARLOS ESTIVEN LARA ROJAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

SEMILLERO BIOLÍQUEN

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA 2024

ESTUDIO DEL GÉNERO *Graphis* EN EL BOSQUE SECO TROPICAL DEL MUNICIPIO DE GIRARDOT- CUNDINAMARCA, COLOMBIA, COMO MODELO DE ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD POR CAMBIO CLIMÁTICO.

CARLOS ESTIVEN LARA ROJAS

DIRECTORA

PROFESORA MARTHA CECILIA GUTIÉRREZ SARMIENTO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

SEMILLERO BIOLÍQUEN

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA 2024

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del director

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá D.C 07 febrero de 2025.

"Las ideas emitidas por los autores son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad" (Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998)"

Dedicatoria

Dedico este logro a la bondad que ha tenido la naturaleza al acompañarme en la vida, al bosque seco tropical de Girardot que me dejó vivirlo durante tanto tiempo, luego estudiarlo, luego recordarlo. A la soledad que se presenta y me transforma, al encuentro con los escritores, sus problemas y sus novelas. A mi madre que puso pecho al fogonazo, a mis amigos y sus ideas. A los "Ciegos" que tanto odio.

¡Muera la poesía!
¡Viva el terror!
El Nadaísmo
Es gentil armada de la revolución.

Los Yetis- Llegaron los peluqueros (1968).

Agradecimientos

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el espacio en que me fue posible desarrollarme.

A la Profesora Martha Cecilia Gutiérrez Sarmiento, quien me ayudó fungiendo como Directora.

A Dorian René Valle Bernal por su ayuda indispensable en campo

A Ángel María Lara Rojas (Turco) por su guianza en campo

A Karol Johanna García Amado por las incondicionales ayudas facilitadas para este proceso

A Noel Lara y Mercedez Hernández por abrirme las puertas de su casa y facilitarme el trabajo en campo

Al Dr. Robert Lücking por sus enseñanzas y aportes en la identificación de las especies

Finalmente, A la Dra. Bibiana Moncada quien me ha ensañado mucho del proceso, me ha facilitado herramientas y oportunidades para seguir aprendiendo y de quien me considero uno de sus estudiantes.

Tabla de Contenido

Nota de Aceptación **3**

Dedicatoria **5**

Agradecimientos **6**

Tabla de Contenido **7**

Índice de Figuras **9**

Índice de Tablas **10**

1. Resumen **11**

1.1 Palabras clave: **11**

2. Introducción **11**

3. Marco teórico **13**

3.1 Líquenes: **13**

3.2 *Graphis* (Ascomycota: Ostropales: Graphidaceae) Adans. 1763: **13**

3.3 Bosque seco tropical: **14**

4. Metodología **16**

4.1 Área de estudio: **16**

4.2 Técnicas de análisis: **20**

4.2.1 Objetivos 1: Reconocer la diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio. **20**

4.2.2 Objetivos 2: Comparar la diversidad encontrada con estudios de bosques secos tropicales de otras regiones de Colombia. **21**

4.2.3 Objetivo 3: Evaluar los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*. **25**

5. Resultados **26**

5.1 Diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio **26**

5.1.1 Diversidad de especies en la zona de estudio: **26**

5.1.2 Descripción de especies nuevas: **27**

5.2 Comparación de la diversidad encontrada en la zona de estudiada con respecto a otros bosques secos tropicales de Colombia **35**

5.2.1 Índices de Biodiversidad Alfa para Girardot: **45**

5.2.2 Curva de acumulación de especies y Rarefacción: **46**

5.2.3 Índice de Biodiversidad Beta: **48**

5.2.4 nMDS y ANOSIM: 50

5.2.5 Análisis de agrupamiento (Clústers): 52

5.3 Evaluación de los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*. 55

5.3.1 Modelado de la presencia del hábitat en función de variables climáticas: 55

5.3.2 Guía rápida ilustrada tipo *Field Museum* para la determinación de especies del género *Graphis* para el Municipio de Girardot, Cundinamarca, Colombia (inédito): 61

6. Discusión de resultados 66

6.1 Diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio 67

6.1.1 Diversidad de especies en la zona de estudio: 67

6.1.2 Descripción de especies nuevas: 67

6.2 Comparación de la diversidad encontrada en la zona de estudiada con respecto a otros bosques secos tropicales de Colombia 67

6.2.1 Índices de Biodiversidad Alfa y Beta para Girardot: 69

6.2.2 Curva de acumulación de especies y Rarefacción: 70

6.2.3 nMDS y ANOSIM: 70

6.2.4 Análisis de agrupamiento (Clústers): 71

6.3 Evaluación de los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*. 71

6.3.1 Modelado de la presencia del hábitat en función de variables climáticas: 71

6.3.2 Guía rápida ilustradas tipo *Field Museum* para la determinación de especies del género *Graphis* para el Municipio de Girardot, Cundinamarca, Colombia (inédito): 73

7. Conclusiones 73

8. Referencias 74

Índice de Figuras

Figura 1: Estado y distribución de Bosque seco tropical en Colombia (Foto modificada de Pizano et al. 2015) 15
Figura 2: Mapa que muestra la ubicación geográfica de los transectos. 18
Figura 3: Imagen del Bosque seco tropical al costado derecho del Río Sumapaz en el sector conocido como “La nariz del diablo”-Melgar, Tolima..... 18
Figura 4: A, Cerros deforestados para actividades agrícolas. B, Terrenos ahora usados para ganadería. C, Áreas urbanizadas en terrenos antes destinados a la ganadería. D, ampliación de la frontera urbana en Girardot, Cundinamarca. 19
Figura 5: Composición vegetal de los transectos muestreados: A). Foto panorámica del BST de Girardot, B). Transecto 1, C). Transecto 2, D). Transecto 3. 20
Figura 6: Morfología y anatomía de Graphis epigraphis. A y B, Morfología de los dos especímenes recolectados (A, creciendo sobre G. pinicola, 2 mm. B, creciendo sobre G. leptoclada, 2 mm). C, medición de G. epigraphis, 2 mm. D, prueba con KOH (negativa), 70-80 30
Figura 7: Morfología y anatomía de Graphis maryae. A, liquen en el campo. B, morfología de G. maryae mostrando apotecios y verrugas (1 mm). C, sección de lirella (0.5-1 mm). D, prueba con I (positiva). E, prueba con KOH (negativa). F, esporas (80-90 µm). 32
Figura 8 : Morfología y anatomía de Graphis girardotensis. A, Talo de G. girardotensis, 2-3 mm. B, Medición de las lirellas, 2-3 mm. C, Sección de lirella, 0.15 mm. D, Prueba con I (positiva), 0.15 mm. E, Prueba con KOH (positiva para ácido norstíctico), 0.15 mm..... 34
Figura 9 Curva de acumulación de especies y Rarefacción: A). Gráfico de la curva de rarefacción individual, B). Gráfico de curva de cobertura muestral, C). Evaluación entre la diversidad y el grado de cobertura muestral alcanzado. 48
Figura 10 Análisis nMDS de la Composición de Comunidades de Graphis en Localidades de Bosque Seco Tropical de Colombia (Datos ANOSIM, Base de datos SIB Colombia y compilación bibliográfica)..... 51
Figura 11 Análisis clúster por distancia de Jaccard para agrupar departamentos según precipitación y composición de especies de Graphis y Allographas. 54
Figura 12 Modelamiento de distribución potencial para el género Graphis, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. A-B) G. anfractuosa, C-D) G. caesiella, E-F) G. furcata, G-H) G. immersicans. 57
Figura 13 (continuación) Modelamiento de distribución potencial para el género Graphis, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. I-J) G. librata, K-L) G. lineola, M-N) G. modesta, O-P) G. nanodes. 59
Figura 14 (continuación): Modelamiento de distribución potencial para el género Graphis, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. Q-R) G. pinicola, S-T) G. scripta. 60

Índice de Tablas

Tabla 1: Listado de especies de Graphis y su distribución en áreas de muestreo en el municipio de Girardot, Cundinamarca. (*) Nuevas para el municipio de Girardot, (**) Nuevas para el departamento de Cundinamarca, (***) Nuevas para Colombia. Acrónimos: Bz: Barzalosa, Gb: Guabinal, Ea: Ecoruta El arbolito. 26
Tabla 2 Regiones geográficas de Colombia con presencia de Bosque Seco Tropical, junto con una referencia a los estudios disponibles sobre la liquenobiota característicos de cada región. 35
Tabla 3 Cuadro comparativo de las especies de Graphis y Allographas registradas en los datos disponibles, segmentadas por región del Bosque Seco Tropical en Colombia, incluyendo la zona de estudio de Girardot, Cundinamarca. 36
Tabla 4: Tabla indicando la contribución de cada especie para los índices Alfa, calculando los Índices de Shannon (H') e de Simpson (D), para el municipio de Girardot. 46
Tabla 5 Tabla para índices Beta entre los tres transectos, calculando los Índices de Sørensen y de Jaccard. 50
Tabla 6 Precipitación promedio del BST por departamento entre 2000-2024 52

1. Resumen

Este estudio documentó la diversidad del género *Graphis* en tres zonas del Bosque Seco Tropical (BST) del municipio de Girardot, Cundinamarca, combinando métodos de muestreo tradicionales (Sipman, 1996) con modelamiento de distribución de especies bajo escenarios climáticos futuros de alta contaminación. Dada la alta amenaza que enfrentan los BST por deforestación y fragmentación, la información detallada sobre su biodiversidad es crucial para su conservación. Los resultados revelaron tres nuevas especies para la ciencia: *Graphis epigraphis*, *Graphis maryae* y *Graphis girardotensis*. La metodología incluyó el establecimiento de zonas de muestreo, la colecta, determinación y herborización de las muestras en el Herbario UDBC-Sección No Vasculares. De las especies reportadas para el género, se observó una mayor diversidad entre las Cordilleras Oriental y Occidental, contrastando con la menor diversidad en la región de la Orinoquía (Llanos colombianos), lo cual se atribuye a la escasez de reportes en esta última región. Los índices de Biodiversidad Alfa sugirieron una alta diversidad en zonas de baja altitud, con dominancia de pocas especies (índice de Simpson), mientras que los índices de Biodiversidad Beta revelaron una diferenciación considerable entre las comunidades de *Graphis* en las zonas de muestreo. El modelamiento de la distribución potencial, realizado con el software Wallace, datos de ocurrencia y variables climáticas de WorldClim bajo el algoritmo *Maxent* y el escenario climático SSP 586 (2021-2040) del modelo ACCESS-CM2 (altas emisiones), mostró un aumento de la presencia para *Graphis anfractuosa* hacia zonas más altas de las cordilleras debido al aumento de temperatura y sequías. *G. caesiella* y *G. furcata* mostraron tendencias a expandirse hacia los Llanos y el Valle Medio del Magdalena, respectivamente. La falta de datos impidió el modelado para otras especies. El aumento de presencia en zonas elevadas plantea interrogantes sobre los efectos del cambio climático en las comunidades liquénicas y la posible pérdida por recambio de especies menos tolerantes a estas variables ambientales. Esta investigación georreferencia por primera vez las especies de *Graphis* en Girardot y elaboró una guía de campo (inédita) con información morfológica, química y de las esporas para facilitar la identificación y registro de especies. Se concluye la necesidad de ampliar los estudios sobre la diversidad del BST antes de que el cambio climático reorganice significativamente estas zonas, resaltado por el descubrimiento de tres nuevas especies que evidencian la alta diversidad aún desconocida.

1.1 Palabras clave: bioindicación, conservación, diversidad liquénica

2. Introducción

A nivel mundial, el bosque seco tropical (BST) representa el 12% de los biomas, cifras cercanas a la mitad de los mismos. Muchos de estos biomas alcanzan tasas de perturbación del 66% (Olson *et al*., 2001) y con ello la estabilidad de cerca de 519.597 km² que se estiman para este bioma en el planeta (Sánchez *et al*., 2013). Para Colombia, se tiene presencia del BST en seis regiones principales: Caribe (394.000 ha), Norandina (185.000 ha), Llanos (78.000 ha), Valle del río Magdalena (27.000 ha), Valle del Cauca (11.800) y Valle del Patía (13.000 ha) (Pizano *et al*., 2015). Donde, en el municipio de Girardot, se encuentran

representadas 23.765 ha de BST, de las que se estiman para áreas urbanas 12.986 ha y las otras 10.779 ha pertenecen a zonas rurales (Castañeda. 2020). Del bajo número de hectáreas que componen hoy el BST en Colombia deriva la importancia que tiene la exploración y reconocimiento de estos biomas únicos, que, para casos como el de Girardot, donde la urbanización y las actividades humanas se suman a las presiones que tienen los remanentes del bosque seco, lo que empuja a su desaparición.

Entonces, la pérdida acelerada que tiene este bioma subraya la importancia de conocer y comprender la diversidad que en ellos habita. De esta manera, se puede partir para generar estrategias de conservación y manejo de estas zonas. En ello, los líquenes son fundamentales por su sensibilidad a las variaciones climáticas, que permite evaluar y monitorear en el tiempo el BST. Las variaciones microambientales del hábitat pueden determinar la distribución de estos organismos, pero su destrucción y fragmentación acentúa dicha condición. Lo que lleva a reflexionar sobre lo crucial de la documentación de estos, al entender la diversidad del BST y sus relaciones ecológicas en la interpretación de los ensamblajes de estos taxa (García. 2019).

Este contexto no resulta menos alarmante en razón a la falta de claridad que se tiene de la composición liquénica del municipio, en especial de sus zonas veredales. Sus datos son deficientes en aspectos biológicos, ecológicos y sociales, lo que limita la capacidad para diseñar y desarrollar estrategias efectivas para su preservación. Según Pizarro *et al*. (2014), tasas de perturbación del 50% en la cubertura del BST, con proyecciones hacia su desertificación, refleja la vulnerabilidad de este ecosistema. Ello llama a la urgencia de la creación de políticas efectivas que incluyan inventarios de biodiversidad y participación con las comunidades que allí habitan. De no desarrollar acciones efectivas, no solo su gestión ambiental está comprometida, sino que, a su vez, perpetúa problemáticas como la expansión de monocultivos, degradación de sus suelos y la construcción descontrolada.

Estas limitaciones han sido sorteadas por los esfuerzos significativos que se han hecho en la documentación del BST. Por ejemplo, el Instituto Humboldt, con su Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental (GEMA), ha liderado algunas iniciativas para generar inventarios en las regiones del Caribe y Alto Magdalena (Pizarro *et al*., 2014). Algunos investigadores como Lücking *et al*. (2019), Medina *et al*. (2021), Castañeda (2020) y López *et al*. (2019) han contribuido al conocimiento de la liquenobiota de estos lugares, lo que, a su vez, suele llevar a la descripción de nuevas especies.

Esta investigación tiene por objetivo documentar los líquenes cortícolas del género *Graphis* en tres sectores del bosque seco tropical del municipio de Girardot. Basado en las recomendaciones de Sipman (1996) busca aportar un primer inventario para el conocimiento de la liquenobiota de la región. Se contrastará la similitud y diferencia entre las comunidades de *Graphis* del área de estudio con otras zonas de BST en Colombia.

En este contexto, este trabajo se plantea las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son las especies de líquenes cortícolas que habitan en el área de estudio?
2. ¿Cuál es el grado de similitud de las comunidades de líquenes del área de estudio con las presentes en los bosques secos tropicales del norte de Colombia?

3. ¿Presentan las especies existentes en el área de estudio algún tipo de amenaza según los criterios de la IUCN?

Al responder estas preguntas, se espera contribuir al conocimiento de la liquenobiota del BST en Girardot, generando insumos para futuras investigaciones y estrategias de conservación que mitiguen las amenazas asociadas a este ecosistema único y frágil.

3. Marco teórico

3.1 Líquenes:

Los líquenes son organismos compuestos por holobiontes donde una de las partes implicadas denominada micobionte; es la más abundante dentro del talo liquénico seguido del fotobionte (Roncallo *et al*. 2017) y finalmente, de los microecosistemas asociados a estos organismos. La estructura del talo liquénico es producto de las relaciones habituales de sus holobiontes que de manera conjunta da particularidades morfofisiológicas muy útiles de acuerdo con las condiciones macro y microambientales donde se desarrollan los organismos (Leiva *et al*. 2016; Hodkinson *et al*. 2009) La conceptualización de simbiosis en líquenes es tema de gran debate debido a las relaciones que se dan al interior de los talos. Usualmente se habla de simbiosis mutualista (relación entre individuos donde temporal o permanentemente, ambos reciben beneficios indispensables para su existencia), aunque algunos autores proponen una simbiosis parasitaria por parte del hongo, o unos holobiontes en interacción más un complejo microecosistema asociado a los mismos (Cubas *et al*., 2010; Hilje. 1984; Le Pogam-Alluard. 2016; Grube *et al*., 2015; Hawksworth *et al*., 2020).

Estos organismos se encuentran bien distribuidos por todo el globo y constituyen parte importante de las estadísticas de biodiversidad (Soto *et al*. 2021; Olson *et al*. 2001). Y aunque su diversidad y distribución geográfica son enormes, aún existen un desconocimiento generalizado, bien sea en ciertos grupos o en ciertos biomas, como lo es el caso de los bosques secos tropicales interandinos de Colombia (IAVH & GEMA. 1998, López *et al*. 2019).

3.2 *Graphis* (Ascomycota: Ostropales: Graphidaceae) Adans. 1763:

La Familia *Graphidaceae* se reconoce como la segunda más grande del grupo de los hongos liquenizados, destacando su diversidad, donde para los trópicos puede existir más de 1600 especies, esta característica de la Familia se puede evidenciar en la cantidad de nuevos reportes que se hacen para la ciencia en este grupo (Soto *et al*. 2017). Dentro de los Graphidaceaes existen especies que son indicadoras de la contaminación y continuidad ecológica, lo que resulta interesante para procesos evaluativos de los estados de conservación de los bosques en los trópicos (Soto-Medina *et al*., 2017, Rivas-Plata *et al*., 2008).

Las especies de esta familia se caracterizan por presentar talos costrosos, continuos y que pueden ir desde lo inmerso hasta lo superficial. Su fotobionte es *Trentepholia*, sus apotecios se caracterizan por ser en su mayoría lirellados (alargados) luego, en otras ocasiones ser ramificados o estrellados, algunos otros géneros pueden presentarlos inmersos debajo de una estructura tallina parecida a un clípeo. Sus márgenes tallinos pueden estar presentes o ausentes. Excípulo de color pálido llegando, incluso, a poder ser negros, prominente y bien

desarrollado, a veces longitudinalmente surcado, estriado o lacerado. Presentan Himenios I-. Hipotecio delgado, pálido. Hamatecio de paráfisis no ramificadas, perifisioides a veces presentes. Ascos a 8-esporados, K/I–, claviformes a subcilíndricos, no fisitunicados, dehiscencia por una hendidura apical. Ascosporas transversalmente septadas o muriformes, a veces violetas I+ cuando maduran, lúmenes redondeados a lenticulares, en su mayoría incoloros, pero a veces marrones cuando están sobremaduros. Conidiomas picnidios. Conidios en forma de bastón, incoloros. Sus grupos son polifiléticos hasta lo que se ha reportado en la actualidad (Aptroot *et al*. 2023)

En la liquenobiota de los bosques tropicales es muy común encontrar esta familia, considerando que su presencia va desde bosques lluviosos (donde se presentan más diversos) y bosques lluviosos de montaña hasta vegetación alpina, bosque seco y vegetación de sabana. No suelen extenderse hacia las regiones templadas lo que no quiere decir que no puedan estar, como el caso del complejo *Graphis scripta*. Son especies que suelen vivir en la corteza de los árboles y tienen preferencia por lugares sombreados a expuestos (Lücking *et al*. 2011). Son casi 400 especies las que componen el género *Graphis*, de esta manera se establece como el género con mayor representación en el neotrópico. Su número de especies crece constantemente (Motta & Amórtegui. 2018). Sus especies se registran para elevaciones medias donde se puede presentar ligeras estaciones secas, como selvas húmedas a bajas alturas, presente en micrositios que son semiexpuestos-expuestos. Son frecuentes en zonas de perturbación ecológica (Aptroot *et al*. 2023).

3.3 Bosque seco tropical:

El bosque seco tropical (BST) se caracteriza por presentar temperaturas anuales mayores a 17 °C con una evapotranspiración que supera la precipitación que, por lo general, se encuentra entre 250 y 2000 mm por año y períodos marcados de sequías y lluvias que preceden a condiciones ecológicas definitorias para las especies que allí conviven (Pizarro *et al*. 2014). Su vegetación particular se compone por árboles de hojas caducas (Sánchez *et al*. 2005). De las zonas de cobertura de bosque a nivel mundial, se considera que se mantiene alrededor de un poco más de un millón de kilómetros cuadrados de bosque seco tropical a nivel mundial, encontrándose distribuida más de la mitad en Sur América en países como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil; siendo estos dos últimos los que poseen mayores extensiones continuas de este ecosistema (Pizarro *et al*, 2014). Dentro de las características que podemos encontrar para definir este ecosistema en particular es la consistencia en la formación vegetal de cobertura boscosa continua y su distribución altitudinal que se extiende desde los 0 – 1000 metros sobre el nivel del mar (Minambiente. 2021), áreas que en su mayor componente son planas, de pH moderado, suelos de una fertilidad promedio que presentan poca tendencia a la perdida de nutrientes por lixiviación o procesos pedogénicos. Aunque en la actualidad hacen parte de los ecosistemas más amenazados, históricamente sus condiciones han sido la base para mantener grandes poblaciones de humanos (Pizarro *et al*, 2014).

En Colombia podemos encontrar distribuidos estos biomas entre la región Caribe, la Orinoquía, los Valle Interandinos de los ríos Magdalena y Cauca, y en algunos enclaves andinos y alto andinos. Según Minambiente (2021) las zonas de bosque seco en el país

representado por áreas protegidas se encuentran distribuido de la siguiente manera: el 6.2% del BST se encuentran representado en algún área protegida, siendo el aporte de las áreas protegidas del orden Nacional de 3.4% y 2.7% de tipo regional y de la sociedad civil, respectivamente. Es evidente la necesidad que expresa la literatura disponible de dar nuevos enfoques investigativos interdisciplinares a estos ecosistemas, trabajando fuertemente en el reconocimiento de las interrelaciones de los diversos factores ambientales con los organismos allí presentes, entre otros objetivos como los propuestos por Sánchez *et al*. (2005).

La zona de bosque seco tropical que comprende la región del Valle del río Magdalena comprende aproximadamente 28,6 ha de las que el 6,5 de las hectáreas constituye una zona de no bosque, un 9,4 ha comprenden zonas de rastrojo y 11,8 ha se compone de bosques secundarios, así como tan solo el 5,7 ha se halla representado por bosques maduros (ver Figura 1). Esta región en particular registra cinco amenazas por factores antropogénicos a saber: procesos ganaderos, desarrollo de infraestructuras, plantaciones agrícolas, procesos de explotación minera e incendios forestales (Pizano *et al*. 2015).

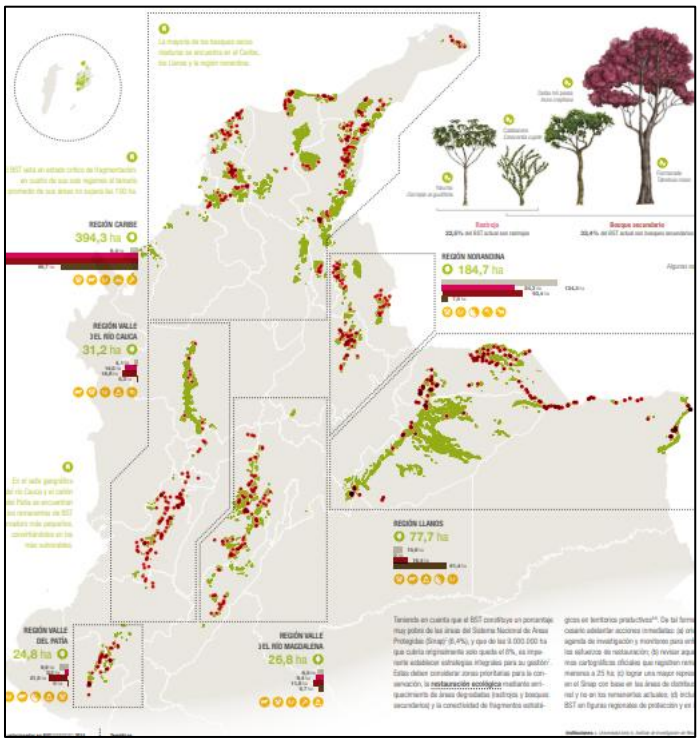


Figura 1: Estado y distribución de Bosque seco tropical en Colombia (Foto modificada de Pizano *et al*. 2015)

El municipio de Girardot al estar ubicado en esta parte del país no es indiferente a las problemáticas antropogénicas que ponen en riesgo dichas estructuras ecológicas, fenómenos

que se expresan incluso en la percepción de los habitantes locales (Castañeda. 2020). Los remanentes de BST en la zona de estudio se ubica en la zona veredal al norte del municipio, dicha región subxerofítica (Guabinal, Barzaloza, y Berlin) tienen una población pobre de mamíferos y ya no presenta poblaciones de micos, venados, osos hormigueros, entre otros (Castañeda. 2020).

En cuanto a la riqueza de liquenobiota de los bosques secos tropicales del país, es marcada la diferencia que existe entre otros ecosistemas del territorio (páramos, bosques húmedos tropicales, zonas premontanas, entre otros.), constituyendo a la vez un grupo minoritario en contraste con otros ecosistemas regionales. Los géneros que en la actualidad representan dichas zonas son: *Bactrospora, Lecanographa, Peltula, Ramonia, Sanguinotrema, Schistophoron, Sporostigma*, distribuidos en 141 especies (Soto *et al*. 2021). Aunque estudios recientes en estos bosques han revelado nuevas especies y mayor diversidad, incluso en remanentes de estos (Lücking *et al*., 2019; Mateus, 2011), sigue siendo notorio el vacío que existe en investigación. Más aún, en el BST de Girardot no existen registros más allá de unas someras enunciaciones del ANLA (2015), donde, para el municipio, se registran a los líquenes como los organismos epífitos más abundantes en comparación con otros grupos. Esto se debe a su particularidad heliotrófica en lugares afectados por los efectos antrópicos, como es el caso de los asentamientos poblacionales aledaños a la construcción de los proyectos de infraestructura nacional y local. Estos registros forman parte de los procesos de levantamiento de vedas para la construcción de corredores viales que conectan la localidad con otros lugares del territorio nacional.

Este trabajo investigativo es, a su vez, importante en la apropiación de la biodiversidad de líquenes cortícolas de la región porque permite conocer las especies que allí habitan y las características bioecológicas que se describen para las mismas. Es así como el conocer las especies que allí habitan puede facilitar que trabajos interdisciplinares tomen estos organismos como excusa investigativa para problematizar preguntas profundas sobre la permanencia y características de estos. Del mismo modo, la posibilidad de medir en el tiempo muchos factores asociados a la permanencia de estos es importante para los trabajos biológicos de los BST como el del municipio de Girardot.

4. Metodología

4.1 Área de estudio:

Ubicado en las verederas Barzalosa, Guabinal y la Ecoruta el arbolito (Fig 2). Entre las coordenadas 4°19'01.7"N-4°21'53.2"N y 74°48'12.0"W - 74°49'05.0"W. El área de estudio se caracteriza por ser un remanente de BST con una vegetación representada por las especies Algarrobo (*Hymenaea courbaril L*), Naranjuelo (*Cratevatapia*), Payandé (*Pithecellobium dulce*), Diomate (*Astronium graveolens*), Caracolí (*Anacardium excelsum*), Ceiba (*Ceiba Pentandra*), Chicalá (*Tabebuia Ochracea*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), etc, y una fauna caracterizada por la presencia de Talla X (*Bothrops asper*), Chuchas (*Didelphis Marsupialis*), Colibrí de cola roja (*Amazilia tzacatl*), entre otros (Concejo de Girardot, 2014).

Los suelos son poco evolucionados respecto a su génesis y de los cuales se pueden encontrar algunos pertenecientes al grupo de los entisoles, inceptisoles y andisoles, principalmente. Estos, además se caracterizan por tener topografías planas con suelos generalmente profundos. Se encuentran bien drenados y tiende a tener capacidad retentiva para el agua y a su vez presentan gran capacidad para el suministro de nutrientes vegetales. Su humedad relativa se encuentra entre los rangos del 60%-80% en relación con la estación del año, en temporadas de sequía esta cifra tiende a disminuir, lo que intensifica el estrés hídrico que viven las plantas en estas temporadas. Sus temperaturas medias anuales son de entre 25 °C-35°C y su precipitación media anual ronda sobre los 900 mm con distribución bimodal (la primera ocurre en los meses comprendidos entre marzo, abril y mayo, la segunda época se presenta entre los meses de septiembre, octubre y noviembre). Con promedios anuales de radiación del orden de las 2085,6 horas de luz/año, lo que representa diariamente 6 horas de brillo solar (Concejo de Girardot, 2014)

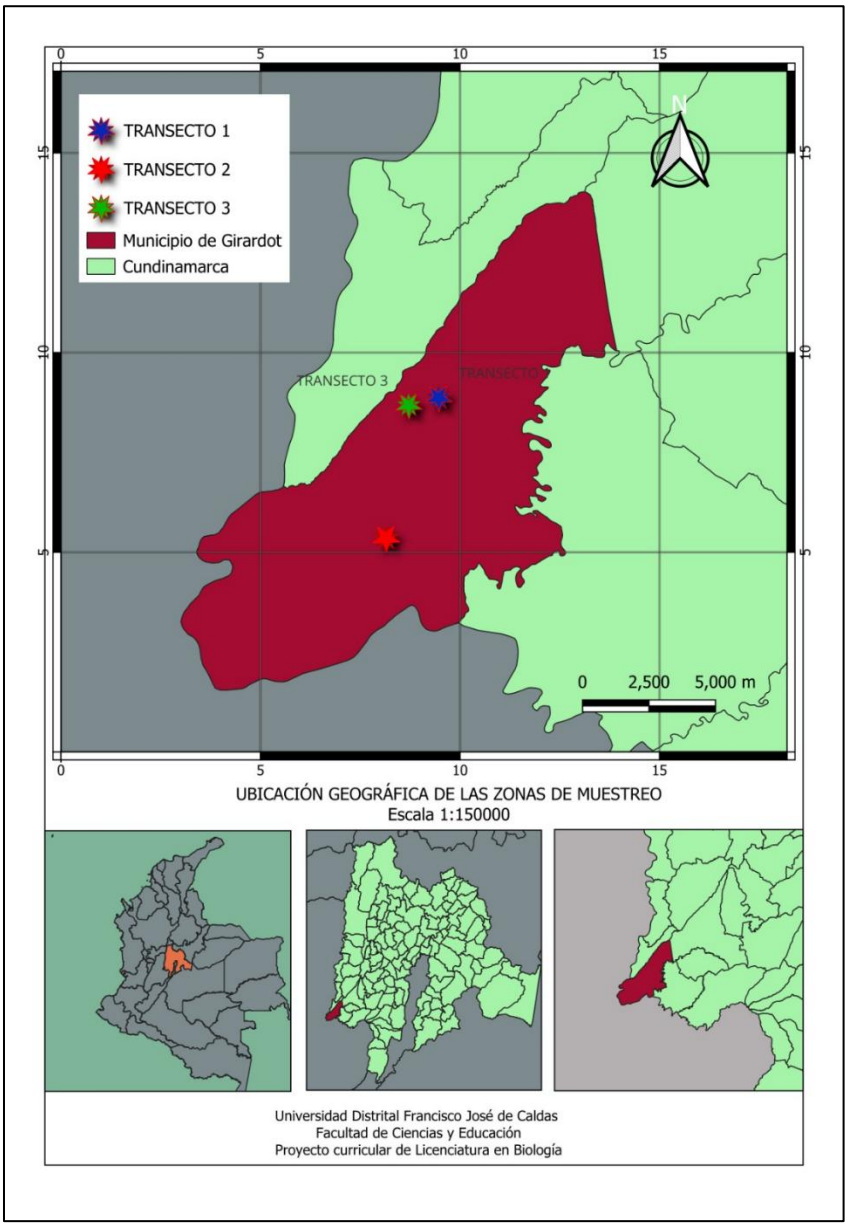


Figura 2: Mapa que muestra la ubicación geográfica de los transectos.

El territorio por el que se extiende el BST y que contempla a los municipios de Girardot, Ricaurte, Melgar (Tolima), entre otros, presenta en su composición estructuras remanentes de bosque terciario y secundario. Encontrándose mayormente representado por remanente de bosque terciario hacia los alrededores de los centros urbanos. Entre territorios municipales se pueden observar parches de bosque secundario. Tal es el caso del transecto conocido como "La nariz del diablo"- Melgar, Tolima (Fig 3). Considerándose de tipo secundario porque se pueden identificar, en su composición; especies de flora nativa y de gran talla. En este sector existe una considerable variedad de especies, gracias a la barrera natural que significa el Río Sumapaz en este tramo de la vía.



Figura 3: Imagen del Bosque seco tropical al costado derecho del Río Sumapaz en el sector conocido como "La nariz del diablo"-Melgar, Tolima.

Durante el desarrollo del estudio se pudo evidenciar el deterioro de la cobertura vegetal aledaña a la estructura urbana del municipio (Fig 4). Sin embargo, la mayor parte de los remanentes del BST, se mantienen al margen de la intervención humana con fines de agricultura extensiva o urbanización. Datos históricos de la zona, dan cuenta que desde

mediados de la década del 40s hasta inicios de la década del 70s. se realizaba extracción de yeso mineral por la Planta de Yesos Ancla (CAR. 2022).



Figura 4: A, Cerros deforestados para actividades agrícolas. B, Terrenos ahora usados para ganadería. C, Áreas urbanizadas en terrenos antes destinados a la ganadería. D, ampliación de la frontera urbana en Girardot, Cundinamarca.

Los predios de los transectos muestreados hacen parte de terrenos de fincas que presentan grados de alteración diferenciados. Nótese como en el transecto 1 y 3 (Fig 5: B-D) permite apreciar una cobertura vegetal de mayor talla que en el transecto 2 (Fig 5: C), donde la cobertura vegetal se caracteriza por arboles de talla pequeña (zonas conocidas localmente como “Chamiceros”). Su cercanía a un frente de expansión urbana puede explicar sus niveles de perturbación, en la medida en que el terreno es el inmediatamente próximo a la constructora (Fig 4. C-D). Para llegar a los terrenos de los transectos 1 y 3 es necesario adentrarse al sector norte de los cerros del municipio, a la altura de las veredas Barzalosa y Guabinal respectivamente, esto permite que los terrenos estén más próximos hacía la cobertura remanente del BST de Girardot.



Figura 5: Composición vegetal de los transectos muestreados: A). Foto panorámica del BST de Girardot, B). Transecto 1, C). Transecto 2, D). Transecto 3.

4.2 Técnicas de análisis:

Para la consecución de los resultados se tuvieron en cuenta los métodos específicos para cada uno de los objetivos, los cuales se presentan a continuación.

4.2.1 Objetivos 1: Reconocer la diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio.

Se establecieron tres transectos lineales dentro de un área rectangular de 100 m de largo x 10 m de ancho. El primer transecto comprende la vía adyacente al conjunto “Los tamarindos” a la altura de la finca La perla y que se extiende en dirección al hotel “La montaña” en las coordenadas iniciales 4°21'53.2"N 74°48'12.0"W. El segundo transecto se describe a partir de los 350 m desde la finca urbana “Palomino Chivos” sobre la antigua vía Girardot- Nariño (mirador turístico “El arbolito”) hacia la parte del bosque izquierdo, coordenadas iniciales 4°19'01.7"N 74°49'16.1"W. Y, finalmente, en el sector de “Guabinal Cerro” a 600 m aproximadamente de la entrada de la escuela primaria que lleva por consiguiente el mismo nombre hasta el finalizar la vía que conduce al cerro de “Guabinal”, sobre el bosque del sector derecho de dicha vía, coordenadas iniciales 4°21'49.6"N 74°49'05.0"W.

A lo largo de estos transectos se estudiaron los líquenes del género *Graphis* presentes en las cortezas de los árboles, para ello se hicieron levantamientos en 100 árboles, siguiendo las recomendaciones de Sipman (1996) y Lücking *et al* (2009). En los transectos establecidos, se colectaron muestras que van desde los 5 cm de altura desde el sustrato hasta 2,64 m de manera consecutiva a lo largo del metraje obtenido. Los transectos colectados presentaban una incidencia de luz variable, desde zonas donde es relativamente baja hasta exposiciones plenas de los líquenes a la luz solar. Esta exposición a la luz solar se distribuyó en el número de colecta de campo de esta forma: Baja: 27, Media: 32, Alta: 38. Los hábitats colectados se encontraban a alturas que iban desde los 329 hasta 517 m.s.n.m.

El material se recolectó bajo el permiso de recolección Resolución ANLA 1342 del 7 de Noviembre de 2014, el material recolectado se llevó al herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDBC) sección No Vasculares. Para la determinación se realizaron pruebas de macroscopia, microscopia y químicas de uso común, como las reacciones con KOH (K), hipoclorito de sodio (C), parafenilendiamina (P) y yodo (I). Se utilizó la literatura Gradstein & Celis (2016), Lücking *et al*. (2009), Lücking *et al*. (2021), Motta & Amórtegui. (2018). Se consultaron las plataformas ColFungi. (2024), *JSTORE: Global Plants* (Smith & Figueiredo. 2014), *Index Fungorum* (2024), GBIF.org y se corroboraron por los especialistas la Dra. Bibiana Moncada y el Dr. Robert Lücking. Posteriormente, las muestras se herborizaron y se incluyeron en la colección del Herbario UDBC. - Sección No Vasculares.

4.2.2 Objetivos 2: Comparar la diversidad encontrada con estudios de bosques secos tropicales de otras regiones de Colombia.

Para llevar a cabo la comparación entre la biodiversidad Alfa del Bosque Seco Tropical (BST) de Girardot se calcularon cuatro índices de diversidad, a saber: el Índice de Shannon (H'), el Índice de Simpson (D), el Índice de Margalef, y el Índice de Diversidad de Menhinick. En primer lugar, se empleó una base de datos computada en Excel para registrar el conteo de especies del género *Graphis* en el área de estudio. A partir de esta base, se calcularon los índices de Shannon (H') y Simpson (D). Para los otros dos índices, se desarrollaron las fórmulas correspondientes, las cuales se presentan en la Tabla 1.

Cálculo del Índice de Shannon (H'):

Fórmula:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} Pi \ln(Pi)$$

Donde:

- H' = Índice de diversidad de Shannon.
- s = Número total de especies en la muestra (riqueza).
- Pi = Proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos.
- ln = Logaritmo natural.

Cálculo del Índice de Simpson (D):

Fórmula:

$$D = \sum_{i=1}^{s} Pi^2$$

Donde:

- **D** = Índice de diversidad de Simpson.
- **s** = Número total de especies en la muestra.
- **Pi** = Proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos.

Cálculo del Índice de Margalef:

Fórmula:

$$\boldsymbol{D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\log N}}$$

donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Significado:

Cálculo del Índice de Menhinick:

Fórmula:

$$\boldsymbol{D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}}$$

donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Curva de acumulación de especies y Rarefacción:

Para la estimación de la diversidad en los diferentes transectos de BST, se utilizó el paquete iNEXT de R (*iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity*), que permite realizar un análisis de rarefacción y extrapolación de la diversidad de especies.

Este programa permite estimar la riqueza de especies y su variabilidad en función del esfuerzo de muestreo, proporcionando una estimación más precisa de la diversidad para los diferentes transectos de la región de Girardot.

Curva de Rarefacción Individual:

La curva de rarefacción individual fue utilizada para evaluar cómo la riqueza de especies se incrementa conforme aumenta el número de individuos muestreados. El eje X de la gráfica representa el número de individuos muestreados y el esfuerzo de muestreo, mientras que el eje Y muestra la riqueza de especies observadas, es decir, el número de especies registradas. Esta curva se caracteriza por dos etapas: una inicial con una pendiente pronunciada, debido a que, en los primeros individuos muestreados, la probabilidad de que cada nuevo individuo corresponda a una especie no registrada previamente es alta. Posteriormente, la curva alcanza una "meseta" o zona de estabilización, donde la mayoría de las especies ya han sido registradas, y los nuevos individuos corresponden en su mayoría a especies ya observadas.

Curva de Cobertura Muestral:

La curva de cobertura muestral mide la fracción de la abundancia total que corresponde a las especies observadas durante el muestreo. En esta gráfica, el eje X representa el número acumulado de individuos muestreados, mientras que el eje Y indica la proporción de especies esperadas que han sido registradas en la muestra. Los valores en el eje Y van de 0 a 1, donde 1 indica que el 100% de las especies presentes han sido registradas. Este gráfico proporciona una estimación de la efectividad del muestreo, sugiriendo si se ha alcanzado o no una cobertura completa de la diversidad del área estudiada.

Evaluación de Diversidad y Cobertura Muestral:

En este análisis, la gráfica representa la relación entre la diversidad estimada de especies y la cobertura muestral alcanzada. El eje X muestra la proporción de la comunidad total muestreada, y el eje Y presenta la diversidad de especies estimada para diferentes niveles de cobertura muestral. Generalmente, la curva muestra un aumento pronunciado al principio, cuando se registran las especies comunes, y se estabiliza conforme aumenta la cobertura muestral, lo que indica que se están alcanzando los límites de la diversidad estimada. Este análisis permite evaluar hasta qué punto se ha logrado registrar toda la diversidad del área estudiada en función de la cobertura alcanzada.

Para llevar a cabo la comparación entre la biodiversidad Beta del Bosque Seco Tropical (BST) de Girardot se calcularon dos índices de diversidad, a saber: el Índice de Sørensen, Índice de Jaccard. Se empleó una base de datos computada en Excel para registrar el conteo de especies del género *Graphis* en el área de estudio. A partir de esta base, se calcularon los índices de Sørensen y Jaccard, las cuales se presentan en la Tabla 2.

Cálculo del Índice de Sørensen:

Fórmula:

$$S = \frac{2C}{A + B}$$

Donde:

S es el índice de Sørensen

C es el número de especies compartidas entre dos conjuntos (por ejemplo, dos transectos o áreas).

A es el número de especies en el conjunto 1 (el total de especies en el primer transecto).

B es el número de especies en el conjunto 2 (el total de especies en el segundo transecto).

Cálculo del Índice de Jaccard:

Fórmula:

$$J = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

- **J** es el índice de Jaccard.
- **c** es el número de especies compartidas entre los dos conjuntos.
- **a** es el número de especies en el conjunto 1 (especies únicas o compartidas en el primer transecto, por ejemplo).
- **b** es el número de especies en el conjunto 2 (especies únicas o compartidas en el segundo transecto, por ejemplo).

nMDS y ANOSIM:

La base de datos se construyó a partir de los registros disponibles en el SIB Colombia (GBIF.org. 2024) para el género *Graphis* con elevación de 0-1000 msnm en los últimos 14 años. Se complementó la base de datos con los registros disponibles en la red para las localidades donde están presentes estos ecosistemas (Álvarez *et al*. 2023, Feria *et al*. 2019, García *et al*. 2020, Gutiérrez *et al*. 2019, Lücking *et al*. 2019, Rincón. 2011, Soto *et al*. 2020, Soto *et al*. 2023). Una vez filtrado los datos, se usó el pograma *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Version 4.17)* (Hammer *et al*. 2023) para generear el modelo nMDS (3D) y obtener el estadístico ANOSIM (Análisis de Similaridad) utilizando la distancia *Bray-Curtis*. Los valores de R proporcionan una medida del grado de separación entre los grupos, donde valores cercanos a 1 indican una alta diferenciación y valores cercanos a 0 sugieren poca o ninguna diferenciación.

Análisis de agrupamiento (Clústers):

Para el análisis de los clústeres, se descargaron los datos de precipitación anual (2000-2024) del IDEAM (2025) para los municipios con presencia de Bosque Seco Tropical en Colombia, calculando el promedio anual de precipitación por municipio (en mm). Estos promedios se tabularon a nivel de departamento, luego de lo cual se integraron con la base de datos de especies usada para el nMDS con lo cual se realizó el análisis clúster de doble vía en el programa *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Version 4.17)* (Hammer *et al*. 2023). Utilizando la modalidad de presencia/ausencia para las especies, se definieron los resultados de precipitación por departamento como variable de agrupamiento. Para el análisis clúster, se optó por un enfoque de *Classical clustering* con el algoritmo *Paired group* (UPGMA) y la distancia de *Jaccard*. Además, se separó el municipio de Girardot del resto del departamento de Cundinamarca para un análisis más específico, permitiendo observar cómo la precipitación influye en la distribución de las especies a nivel local frente a la regional.

4.2.3 Objetivo 3: Evaluar los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*.

Modelado de la presencia del hábitat en función de variables climáticas:

El modelamiento se realizó en el programa Wallace (Kass *et al*. 2023) basando los datos de ocurrencia del género para los departamentos de Colombia donde está presente el BST (Álvarez *et al*. (2023), Feria *et al*. (2019), García *et al*. (2020), Gutiérrez *et al*. (2019), Lücking *et al*. (2019), Motta & Amórtegui (2018), Rincón. (2011), Soto *et al*. (2020), Soto *et al*. (2023), GIBIF.org. (2024), GIBIF.org. (2025)). Los datos se procesaron junto con variables climáticas de alta resolución de *WorldClim* (2.5 arcmin) que representan la temperatura (superiores a 24 °C) y precipitación (600 – 3500 mm anuales) en los bosques secos de Colombia. A través de un polígono mínimo convexo se definió la región de modelamiento. Se incluyó un *buffer* de 0.5 grados para tener una visión de las áreas adicionales que pueden ser potencialmente habitables. La partición de los datos de ocurrencia se realizó con el método *Random k-fold*, lo que permitía poder comprobar la robustez del modelo.

Las proyecciones se hicieron empleando el algoritmo Maxent, configurándose con combinaciones lineales y cuadráticas. Los multiplicadores de regularización estuvieron entre 1 y 5. Una vez ajustado el modelo, con las métricas de desempeño fue posible establecer el mejor modelo en coherencia con lo que se sabe de la ecología del género. El modelo de predicción se programó del 2021-2040, Basado en el escenario climático SPP 586 del modelo ACCESS-CM2, siendo esta configuración las que referencian contextos de altas emisiones. Se seleccionaron estas variables climáticas por sus ejemplificaciones en los cambios estacionales extremos de importancia en la ecología de los *Graphis*: BIO4 (estacionalidad de la temperatura), BIO5 (temperatura máxima del mes más cálido), BIO14 (precipitación del mes más seco) y BIO15 (estacionalidad de la precipitación) (WorldClim. 2024). La guía de procedimiento seguido se encuentra disponible en: https://wallaceecomod.github.io/wallace/articles/tutorial-v2.html#obtain-environmental-data.

Guía rápida ilustradas tipo *Field Museum* para la determinación de especies del género *Graphis* para el Municipio de Girardot, Cundinamarca, Colombia (inédito):

Adicionalmente se hizo una guía de campo digital basada en las guías del *Field Museum* (https://fieldguides.fieldmuseum.org/es) para la identificación de especies de *Graphis* en el Bosque Seco Tropical de Girardot. Esta guía contiene descripciones detalladas de las especies, incluyendo características morfológicas, foto del organismo, corte de la lirella, prueba química diagnóstica y espora. La guía incluye 92 fotografías tomadas con un teléfono móvil Motorola E20, que posee una cámara con una resolución de 4160 x 3120 píxeles (13 megapíxeles).

5. Resultados

5.1 Diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio

5.1.1 Diversidad de especies en la zona de estudio:

Se identificaron 25 especies del género *Graphis* con 95 individuos, de las cuales son 23 nuevas para el municipio de Girardot, 14 nuevas para Cundinamarca y 8 para Colombia.

Tabla 1: Listado de especies de *Graphis* y su distribución en áreas de muestreo en el municipio de Girardot, Cundinamarca. (*) Nuevas para el municipio de Girardot, (**) Nuevas para el departamento de Cundinamarca, (***) Nuevas para Colombia. Acrónimos: Bz: Barzalosa, Gb: Guabinal, Ea: Ecoruta El arbolito.

Especie	Localidad
Graphis anfractuosa (Eschw.) Eschw **.	Gb
Graphis bungartzii A.B. Peña, Lücking, Herrera-Camp. & R. Miranda ***.	Bz
Graphis caesiella Vain *.	Bz
Graphis disserpens Vain **.	Bz, Gb
Graphis dichotoma (Müll. Arg.) Lücking ***.	Ea
Graphis epigraphis Sp. Nov ***.	Gb
Graphis furcata Fée *.	Bz
Graphis girardotensis. Sp. Nov ***.	Bz

Graphis granulocarpa Redinger ***.	Gb
Graphis immersicans A.W. Archer *.	Bz, Ea
Graphis immersella Müll. Arg **.	Bz, Gb
Graphis jejuensis Lüking ***.	Gb
Graphis leptoclada Müll. Arg *.	Gb
Graphis librata C. Knight **.	Bz, Gb, Ea
Graphis lineola Ach.	Ea, Gb
Graphis maryae. Sp. Nov ***.	Bz
Graphis modesta Zahlbr *.	Bz
Graphis nanodes Vain *.	Bz, Gb
Graphis oxyclada Müll.Arg **.	Ea
Graphis pinicola Vain.	Bz, Gb, Ea
Graphis puiggarii (Müll. Arg.) Lücking *.	Ea
Graphis renschiana (Müll.Arg.) Stizenb ***.	Bz, Ea
Graphis scripta (L.) Ach. *.	Gb
Graphis schiffneri Zahlbr ***.	Bz
Allographa subdisserpens (Nyl.) Lücking & Kalb, in Kalb, Lücking & Kalb 2018. *	Bz
Graphis sp.	Bz, Gb, Ea

5.1.2 Descripción de especies nuevas:

A continuación, se presentan la descripción de las tres nuevas especies de *Graphis* para la ciencia descubiertas en este estudio.

Graphis sp. 1*: Lara-Rojas, Lücking & Moncada *sp. nov. (Fig. 6: A-F)

Tipo: COLOMBIA. Cundinamarca, Girardot, Vereda Guabinal, Cerros de Guabinal, Hasta 10 m antes de la entrada a la finca donde termina la vía que pasa por la Fica "Ancestral"-Escuela Guabinal Cerro 4°19’01.9” N 74°40’16.1” W, 527-600 m.s.n.m, Bosque seco tropical; abril de 2022; Carlos Lara-Rojas 75, UDBC Holotypus

Diagnóstico: Se diferencia de *Allographa pauciloculata* por las lirellas que forman agrupaciones estelares regularmente y están cubiertas por un margen tallino lateral formado por el talo del hospedante, el excípulo lateralmente carbonizado y las ascósporas septadas.

Descripción: Liquenícola sobre el talo de *Graphis leptoclada* Müll. Arg. y *Graphis pinicola* Vain, sin formar talo propio. Ascomata lirellatas, formando parches ramificados en forma estelar, muy delicados, con parches de hasta 1 mm de diámetro, lirellas individuales de hasta 0.5 mm de largo, 0.1–0.15 mm de ancho, ramificadas dicotómicamente, desconectándose en el centro de los parches. Labio entero, negro, cubierto lateralmente por un delgado margen tallino algo irregular del talo del hospedante. Excípulo en sección lateralmente carbonizado, de 15–25 µm de grosor, entre las lirellas individuales con grupos de cristales de oxalato de calcio. Himeneo claro, de 70–80 µm de altura, paráfisis no ramificadas; epitecio indistinto; hipotecio prosoplectenquimatoso, de 10–15 µm de altura. Ascos clavariformes, de 50–60 × 10–12 µm. Ascosporas 8/asca, oblongas, con el extremo distal redondeado y el extremo proximal algo agudo, (3–)5-septadas, (14–)17–20 × 4.5–5.5 µm, 3.5–4 veces más largas que anchas, con paredes gruesas y lóbulos en forma de lente, septos I+ de color violeta-azul oscuro.

Química secundaria: Sin sustancias; secciones de ascomas K-negativas; no se realizó TLC.

Etimología: El epíteto hace referencia al crecimiento liquenícola sobre especies de *Graphis*.

Distribución y ecología: Hasta ahora solo conocida de la localidad tipo, un bosque seco en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

Observaciones: Esta es solo la segunda especie verdaderamente liquenícola de *Graphis s.lat*. conocida. La otra especie, originalmente descrita como *Graphina pauciloculata* Coppins & P. James de Gran Bretaña (Coppins & James 1978) y recientemente recombinada como *Allographa pauciloculata* (Coppins & P. James) Aptroot & Weerakoon (Aptroot *et al*. 2023), se consideró inicialmente un liquen autónomo, pero más tarde se reconoció que crecía sobre *Allographa ruiziana* auct., ahora reconocida como *A. anomala* (Leight.) Aptroot & Weerakoon (Aptroot *et al*. 2023).
Cabe destacar que la nueva especie comparte con *A. pauciloculata* la formación de los ascomas liquénicolas en parches de racimos estelares y las esporas ascosporas muy pequeñas, en el extremo más bajo de la variación de tamaño encontrada en *Graphis* y *Allographa*. En *A. pauciloculata*, las esporas son submuriformes y algo más anchas, de 13–15 × 5–6 µm, 2.5–3 veces más largas que anchas. Además, las lirellas individuales carecen de un margen talino y las lirellas en los racimos estelares están secundariamente divididas por secciones transversales irregulares y no se desconectan en el centro, y el excípulo está completamente carbonizado.
Lücking *et al*. (2009) dudaron de la colocación de *Graphina pauciloculata* dentro de *Graphis s.lat.*, que recientemente se ha dividido en *Graphis* s.str. y *Allographa* basándose en datos

moleculares (Lücking & Kalb 2018). Sin embargo, la colocación de *Graphina pauciloculata* dentro de *Allographa*, como sugieren Aptroot *et al*. (2023), también es incierta. Las similitudes con *Graphis sp. 1* en términos de los ascomas agrupados pueden representar una analogía, ya que las especies liquénicolas en otros linajes no relacionados, como los *Arthoniales*, también tienden a formar tales racimos estelares, por lo que esto podría ser una adaptación al hábito de crecimiento liquenícola.

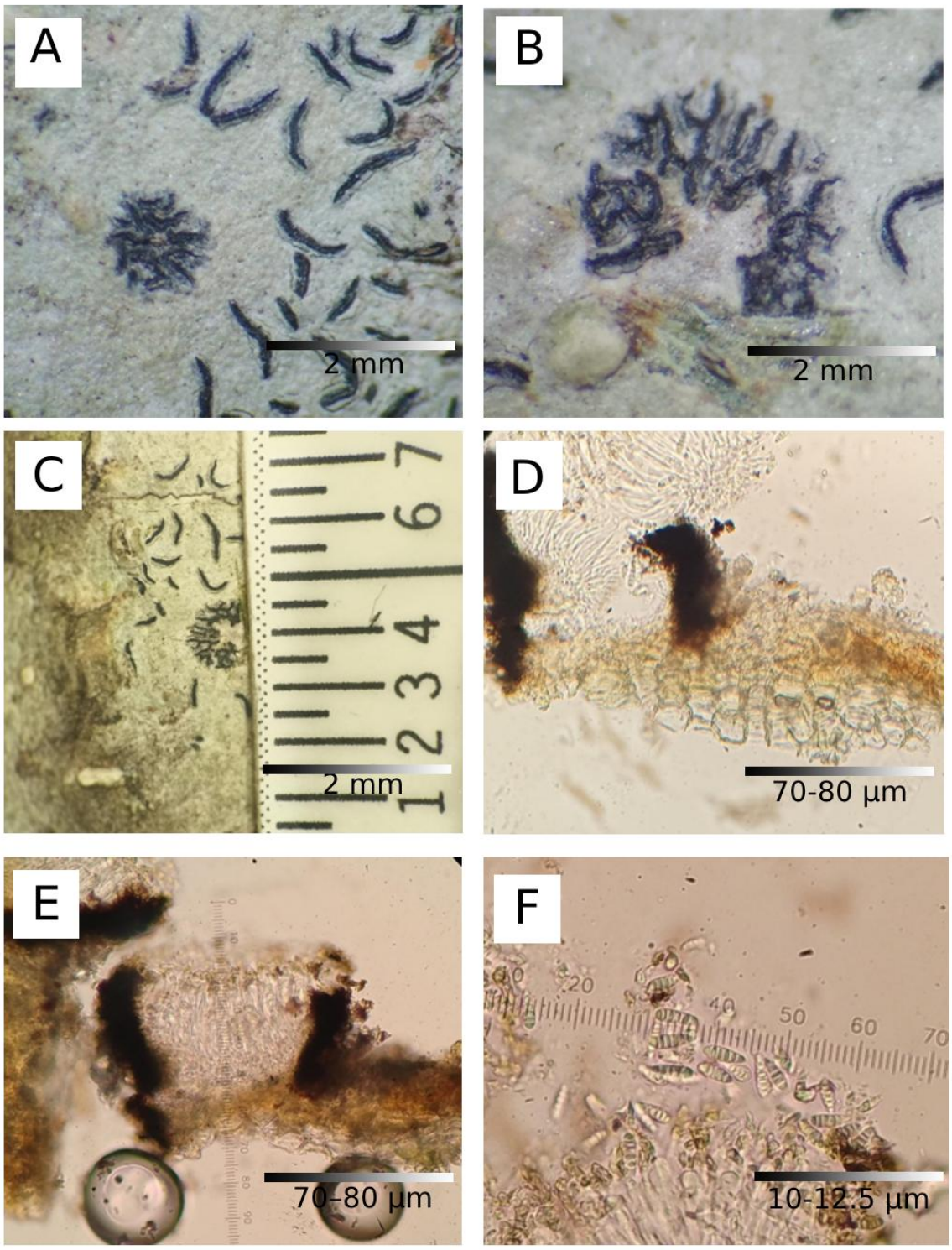


Figura 6: Morfología y anatomía de *Graphis epigraphis*. A y B, Morfología de los dos especímenes recolectados (A, creciendo sobre *G. pinicola*, 2 mm. B, creciendo sobre *G. leptoclada*, 2 mm). C, medición de *G. epigraphis*, 2 mm. D, prueba con KOH (negativa), 70-80

Graphis sp. 2*: Lara-Rojas, Lücking & Moncada *sp. nov. (Fig. 7: A-F)

Tipo: COLOMBIA. Cundinamarca, Girardot, Vereda Barzalosa, Cerros de Barzalosa, alrededores del hotel "La Montaña" 4°21'54.2"N 74°48'10.5"W, 406 m.s.n.m; Bosque seco tropical; Abril de 2022; Carlos Lara-Rojas 21; UDBC Holotipo

Diagnóstico: Se diferencia de *Graphis nanodes* por lo que a lo largo del talo presenta estructuras papilosas y verrugosas; aunque las esporas son muriformes, miden más de 30 µm.

Descripción: Cortícola sobre la corteza de un hospedante desconocido. Talo continuo, distintamente y densamente verrucoso, de color verde pálido, las verrugas de color amarillo pálido; el talo en sección mide aproximadamente 50 µm de grosor, las verrugas hasta 100 µm de grosor, con una corteza densa y prosoplectenquimatosa, capa irregular de fotobionte y médula irregular y delgada con racimos de cristales de oxalato de calcio. Ascomas dispersos, de forma lirellada corta, erumpentes, de 0.5–1 mm de largo, 0.15–2 mm de ancho, no ramificados. Labios enteros, negros, con margen tallino lateral. Excípulo en sección lateralmente carbonizado, de 40–60 µm de grosor, con carbonización algo irregular. Himenio claro, de 90–100 µm de altura, paráfisis no ramificadas; epíthecio indistinto; hipotecio prosoplectenquimoso, de 10–15 µm de altura. Ascos clavatiformes a fusiformes, de 80–90 × 20–25 µm. Ascosporas 4–8 por asco, elípticas, con el extremo distal redondeado, el extremo proximal redondeado a agudo, muriformes, con 7–9 septos transversales y (1–)3–5 longitudinales por segmento, de 28–35 × 11–13 µm, 2.5–3 veces más largas que anchas, con paredes y septos delgados, I+ azul-violeta.

Química secundaria: No se encontraron sustancias; las secciones del talo y los ascomas son negativas en la prueba con K; no se realizó TLC.

Etimología: El epíteto está dedicado a Luz Mary Lara Rojas, madre de uno de los autores.

Distribución y ecología: Hasta el momento solo se conoce de la localidad tipo, un bosque seco en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

Observaciones: *Graphis maryae* Lara-Rojas, Lücking & Moncada fue descrita a partir de una localidad específica en Colombia, Cundinamarca, cerca de Girardot, específicamente en la Vereda Barzalosa, en el área de los Cerros de Barzalosa, alrededor del hotel "La Montaña" (4°21'54.2"N 74°48'10.5"W, 406 m sobre el nivel del mar). Esta especie fue recolectada en abril de 2022 por Carlos Lara-Rojas (número de colección M 21) y está depositada como el holotipo en UDBC.

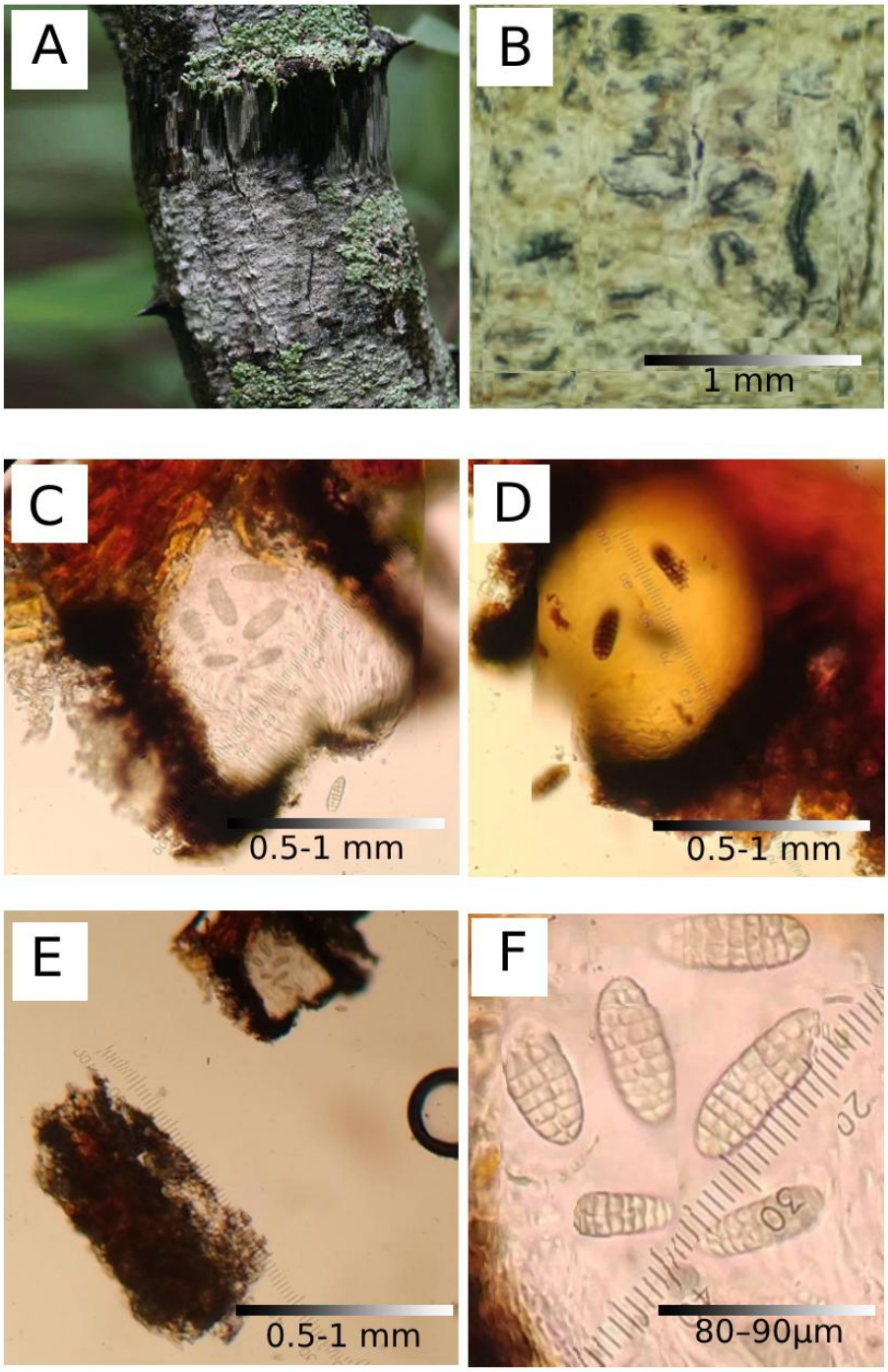


Figura 7: Morfología y anatomía de *Graphis maryae*. A, liquen en el campo. B, morfología de *G. maryae* mostrando apotecios y verrugas (1 mm). C, sección de lirella (0.5-1 mm). D, prueba con I (positiva). E, prueba con KOH (negativa). F, esporas (80-90 µm).

Graphis sp. 3*: Lara-Rojas, Lücking & Moncada *sp. nov. (Fig. 8: A-F)

Tipo: COLOMBIA. Cundinamarca, Girardot, Vereda Barzalosa, Cerros de Barzalosa, alrededores del hotel "La Montaña" 4°21'54.2"N 74°48'10.5"W, 406 m.s.n.m; Bosque seco tropical; abril de 2022; Carlos Lara-Rojas 4 Y 5; UDBC Holotipo.

Diagnóstico: Se diferencia de *Graphis caesiella* porque sus lirellas tienen una capa delgada de pruina, un margen tallino más delgado. La carbonización del apotecio es más delgada, con el disco algo expuesto.

Descripción: Cortícola, creciendo sobre la corteza de un hospedante desconocido, talo continuo, irregular, de color gris-blanquecino; el talo en sección mide aproximadamente 60 µm de grosor, con una corteza densa y prosoplectenquimatosa, capa algal regular del género *Trebouxia*, ascomas cercanos entre sí, lirelliformes, de 2-3 mm de largo, 0.17-2.5 mm de ancho, no ramificados. Los labios son enteros, negros con una capa delgada de pruina, con un margen tallino lateral. Excipulo en sección lateralmente carbonizado, de 50-60 µm de grosor, con carbonización algo irregular. Himeneo claro, de 120-195 µm de altura, paráfisis no ramificadas; epíthecio indistinto; hipotécio prosoplectenquimoso, de 10-15 µm de altura. Asco transversalmente septado, de 30-40 × 7.5 µm. Ascosporas 4-6 por asco, con 9 septos transversales, con paredes y septos delgados, reacción I+ azul-violeta.

Química secundaria: sustancias; las secciones del talo y los ascomas son K+ ácido norstictico; no se realizó TLC.

Etimología: El epíteto está dedicado al municipio de Girardot, donde se encontró el espécimen.

Distribución y ecología: Hasta el momento solo se conoce de la localidad tipo, un bosque seco en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

Observaciones: Aunque *Graphis caesiella* está descrita como una especie con algo de pruina en sus labios, se ha observado que sus lirellas están ligeramente divididas (Bungartz *et al*. 2010), un caso que no se aplica a *G. girardotensis* ya que no presenta lirellas ramificadas. Las esporas de *G. girardotensis* son relativamente más largas de lo descrito en Kalb *et al*. (2018). Además, la capa de pruina en los labios de *G. girardotensis* es más delgada en comparación con *G. caesiella*. La carbonización del excípulo en *G. girardotensis* es

notablemente más delgada, lo que facilita la diferenciación entre las dos especies en el campo.

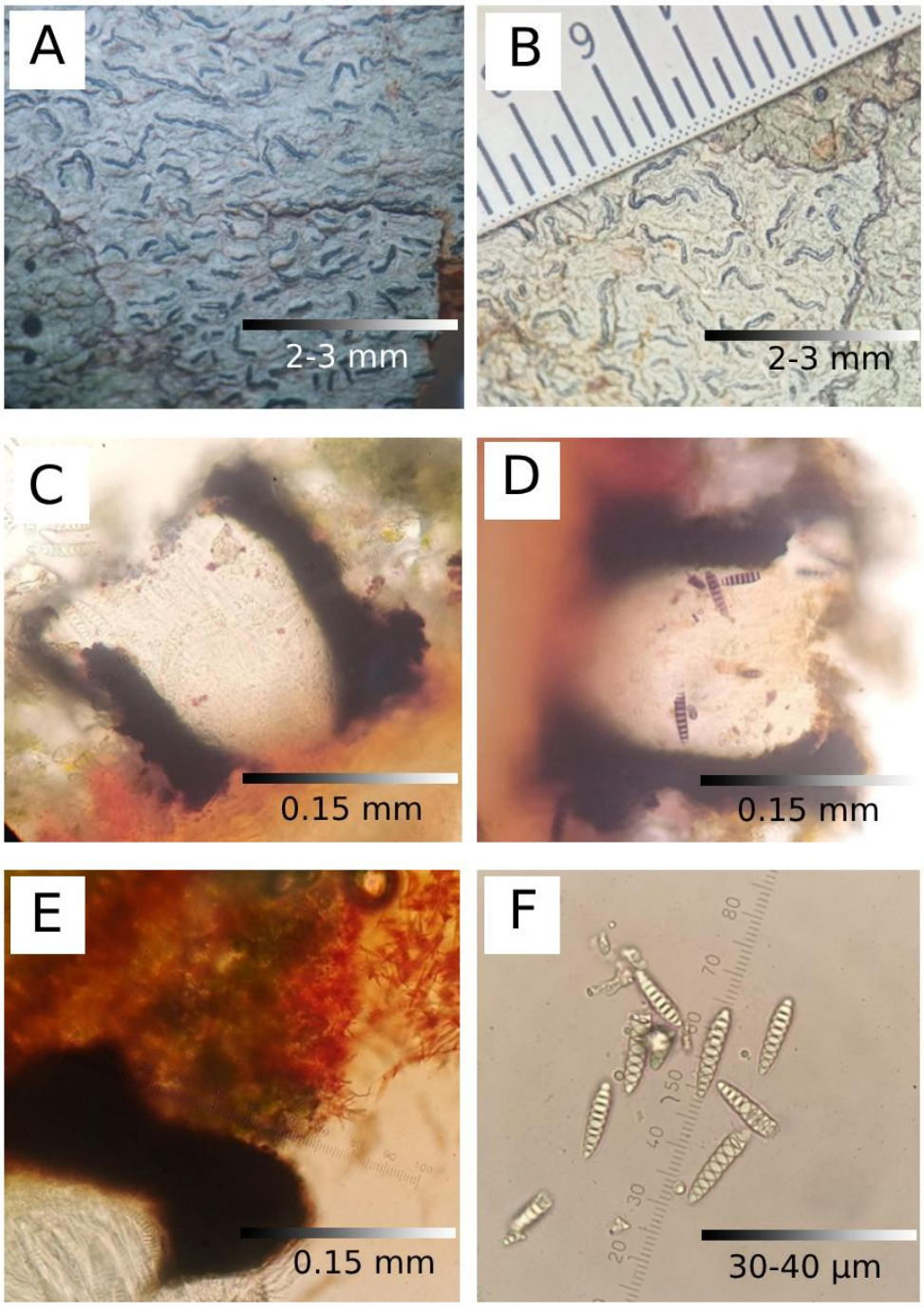


Figura 8 : Morfología y anatomía de *Graphis girardotensis*. A, Talo de *G. girardotensis*, 2-3 mm. B, Medición de las lirellas, 2-3 mm. C, Sección de lirella, 0.15 mm. D, Prueba con I (positiva), 0.15 mm. E, Prueba con KOH (positiva para ácido norstíctico), 0.15 mm

5.2 Comparación de la diversidad encontrada en la zona de estudiada con respecto a otros bosques secos tropicales de Colombia

La Tabla 2 muestra las regiones de Colombia donde se encuentran Bosques Secos Tropicales, junto con las referencias de estudios que documentan la liquenobiota característica de cada área. Esta información permite identificar las regiones mejor documentadas y aquellas con vacíos de conocimiento, sirviendo como base para contextualizar la diversidad registrada en las zonas de estudio. Al comparar la información disponible en estas regiones, se encuentra que las zonas con mayor documentación de su liquenobiota son los BST del Valle del Cauca, Costa Caribe, seguidos de los BST de la Orinoquía, Santander y Norte de Santander. En cambio, no se encuentran registros documentales de la liquenobiota de los BST para las regiones del Valle del río Patía y el Valle Alto y Medio del Magdalena.

Tabla 2 Regiones geográficas de Colombia con presencia de Bosque Seco Tropical, junto con una referencia a los estudios disponibles sobre la liquenobiota característicos de cada región.

Zona Geográfica	Región de Bosque Seco	Áreas Específicas	Estudios de Líquenes Realizados
Valle del río Patía (sur del Valle Geográfico del Cauca)	Bosque seco Tropical del Sur del Cauca	En los dptos de Nariño (Nororiente) y Cauca (Sur) se encuentra el BST del Valle del río Patía.	No registra estudios para las zonas de BST.
Valle del río Cauca	Bosque seco Tropical del Valle del Cauca	Valles interandinos del río Cauca, que se extienden desde el Sur de dpto del Valle del Cauca hasta el Norte del dpto de Antioquia.	Soto-Medina *et al*. (2020), Soto-Medina *et al*. (2023), Soto-Medina *et al*. (2017), Medina *et al*. (2021), Díaz. (2015), Rodríguez. (2022), entre otros.
Alto y Medio Valle del río Magdalena	Bosque seco Tropical del Valle del Magdalena	Llanuras de la franja adyacente del río Magdalena en los dptos de Huila, Cundinamarca, Tolima.	No registra estudios para las zonas de BST.
Santander y Norte de Santander	Bosque seco Tropical de Santander y Norte de Santander	Bosques secos de la zona Norte de la cordillera Oriental en las inmediaciones de Cúcuta, los Valles de	Castro-Moreno. (2019), Benavides. (2004), Juan. (2023).

		Convención y Ocaña, Valle medio del río Chicamocha.	
Costa Caribe	Bosque seco Tropical de la Costa Caribe	Bosques insulares de Tierra Bomba, Islas del Rosario, San Bernardo, San Andrés, Providencia y Santa Catalina.	GBIF.org. (22 diciembre 2024), García. (2019), Avendaño *et al*. (2009), Rincón. (2011), Feria. (2019), Ramírez-Roncallo. (2018).
Orinoquía	Bosque seco Tropical de la Orinoquía	Algunos bosques caducifolios se han determinado como BST en el piedemonte llanero de los dptos de Arauca y Meta. El Andén Orinoqués presenta clasificaciones similares, que, por su estrés hídrico y sus suelos, se parecen a un BST, aunque sus precipitaciones sean mayores (2,500 mm al año).	Lücking *et al*. (2023), Álvaro *et al*. (2011), Vargas *et al*. (2015), Peláez *et al*. (2013).

La Tabla 3 muestra un cuadro comparativo de las especies de *Graphis* y *Allographas* registradas en las distintas regiones de Bosque Seco Tropical de Colombia, incluyendo la zona de estudio en Girardot, Cundinamarca.

Tabla 3 Cuadro comparativo de las especies de *Graphis* y *Allographas* registradas en los datos disponibles, segmentadas por región del Bosque Seco Tropical en Colombia, incluyendo la zona de estudio de Girardot, Cundinamarca.

Especies	**Girardot-Cundina**	**BST de la Costa Caribe**	**BST de la Orinoquía**	**BST de Santander y Norte de Santander**	**BST del Valle del Cauca**	**BST del Valle del Magdalena**	**BST del Valle del río Patía**

Allographa acharii		X	X	X		X	
Allographa adpressa		X					
Allographa angustata		X	X			X	
Allographa argentata		X	X		X	X	
Allographa atrocelata		X					
Allographa balbisii		X					
Allographa bifera		X					
Allographa carassensis		X					
Allographa chrysocarpa		X	X	X			
Allographa comma		X		X		X	
Allographa contortuplicata		X					
Allographa daintreensis		X					
Allographa daintriensis		X					
Allographa elongata		X	X			X	
Allographa farinulenta						X	
Allographa fournierii			X		X		
Allographa funilina						X	
Allographa glauconigra		X		X		X	
Allographa granulata						X	
Allographa hossei		X				X	
Allographa illinata		X					
Allographa ingarum			X				
Allographa longula		X	X		X	X	

Allographa macella		X		X			
Allographa malacodes		X					
Allographa marginata		X					
Allographa miniata		X				X	
Allographa multisulcata						X	
Allographa nana			X			X	
Allographa nuda		X					
Allographa ochracea		X	X			X	
Allographa phaeospora		X	X				
Allographa pilarensis						X	
Allographa rhizicola		X		X			
Allographa rimulosa			X				
Allographa rufopallida			X				
Allographa ruiziana			X				
Allographa rustica		X					
Allographa seminuda		X				X	
Allographa sitiana			X	X		X	
Allographa striatula			X				
Allographa subcelata		X					
Allographa subdisserpens	X					X	
Allographa subvernicosa			X				
Allographa superans		X				X	
Allographa tumidula						X	

Allographa vestitoides		X					
Graphina streblocarpa		X				X	
Graphina subserpentina		X				X	
Graphis dendrogramma		X					
Graphis albissima		X					
Graphis anfractuosa	X	X			X	X	
Graphis anguilliformis		X					
Graphis aperiens						X	
Graphis arbusculiformis		X					
Graphis argentea				X			
Graphis argentia		X	X	X		X	
Graphis aurita						X	
Graphis brahmanensis						X	
Graphis bungartzii	X					X	
Graphis caesiella	X	X			X	X	
Graphis caesiocarpa		X		X	X	X	
Graphis capillacea		X					
Graphis chlorotica		X					
Graphis chondroplaca					X	X	
Graphis conferta					X		
Graphis copelandii		X					
Graphis cupei		X					
Graphis dendrogramma		X					
Graphis dichotoma	X					X	

Graphis disserpens	X	X				X	
Graphis dracaenae					X	X	
Graphis dupaxana		X			X		
Graphis duplicata		X	X			X	
Graphis duplicatoinspersa						X	
Graphis elegans		X					
Graphis emersa					X		
Graphis epigraphis sp. Nov.	X						
Graphis exalbata		X					
Graphis ferruginea					X		
Graphis ficicola		X					
Graphis flexibilis		X					
Graphis fumosa		X					
Graphis furcata	X	X		X		X	
Graphis geraensis		X					
Graphis girardotensis sp. Nov.	X						
Graphis glaucescens		X	X	X		X	
Graphis granulocarpa	X						
Graphis hyphosa		X	X		X		
Graphis hypocrellina		X					
Graphis immersella	X	X				X	
Graphis immersicans	X		X	X	X	X	
Graphis intricata		X			X		

Graphis jejuensis	X					X	
Graphis lapidicola			X				
Graphis leptocarpa		X			X		
Graphis leptoclada	X		X			X	
Graphis librata	X		X		X	X	
Graphis lineola	X	X	X	X	X	X	
Graphis luluensis						X	
Graphis lurizana		X					
Graphis maryae sp. Nov.	X						
Graphis modesta	X	X				X	
Graphis mokanarum		X					
Graphis myrtacea						X	
Graphis nanodes	X	X		X		X	
Graphis negrosina						X	
Graphis oxyclada	X	X	X			X	
Graphis pinicola	X	X				X	
Graphis proserpens		X		X		X	
Graphis prunicola		X					
Graphis pseudoserpens			X				
Graphis puiggarii	X		X	X		X	
Graphis pyrrhocheiloides		X	X				
Graphis renschiana	X					X	
Graphis renschiana						X	

Graphis schiffneri	X	X					
Graphis scripta	X	X	X	X	X	X	
Graphis sp						X	
Graphis stipitata						X	
Graphis subcontorta				X	X		
Graphis subhiascens			X			X	
Graphis submarginata		X				X	
Graphis subregularis						X	
Graphis subtecta			X				
Graphis supracola		X					
Graphis symplecta						X	
Graphis tenella		X			X	X	
Graphis urandrae		X	X				
Graphis virescens		X		X	X		
Graphis xylophaga		X					
Graphis zonatula		X					
Thalloloma subvelata		X		X			

Las especies presentan una distribución heterogénea entre las regiones estudiadas. El Bosque Seco Tropical (BST) de la Costa Caribe y el BST del Valle del Magdalena, que incluye los datos de la zona de estudio, muestran la mayor similitud con un índice de Sørensen de 0.44 (Tabla 3.1), lo que indica una cantidad significativa de especies compartidas entre ambas regiones. En contraste, la ausencia de datos sobre especies del género *Graphis* en la región del BST del Valle del Río Patía impidió realizar comparaciones con las demás regiones, resultando en un índice de similitud de 0. Estos resultados evidencian que la composición florística de los BST no es homogénea, como lo reflejan los índices de Sørensen, que varían substancialmente entre 0.44 (máxima similitud) y 0 (ausencia de similitud).

Entre las regiones de la Orinoquía, Valle del Magdalena y Santander-Norte de Santander se presenta un índice de Sørensen idéntico de 0.33 (Tabla 3.1), lo que sugiere una similitud moderada entre estas áreas. Sin embargo, estos valores podrían variar con nuevos reportes de especies en cada región. Por otro lado, las regiones más similares son el Valle del Magdalena

y la Costa Caribe, siendo esta última la más diversa, con 82 especies registradas. Esta alta diversidad puede atribuirse al mayor número de registros disponibles para la región. La similitud que comparte con el BST del Valle del Magdalena indica que estas áreas poseen un número considerable de especies en común, lo que refuerza su diversidad conjunta.

La región del Caribe es la que presenta los remanentes de BST más grandes del país con manchas boscosas de 6000 ha en elevaciones que van desde el nivel mar hasta los 650 msnm. Esta zona se compone de los relictos de bosque seco en mejor estado de conservación, allí se incluye zonas como el Parque Nacional Natural Tayrona, y el Santuario de Fauna y Flora Los Colorados. Se encuentra presionado por el desarrollo de infraestructuras, ganadería, incendios forestales, tala intensiva y tala selectiva. Las estructuras de BST que se encuentran hoy en la región Norandina se dan gracias a que se encuentran mayoritariamente en pendientes, caso emblemático el que se da en el Cañón del Chicamocha. Dentro de las presiones que tiene este ecosistema (infraestructura, agricultura, erosión, tala selectiva) resalta el generado por las cabras (pastoreo) que ponen en riesgo las especies típicas de la región como la Ceiba barrigona (*Cavanillesia chicamochae*), el cacao indio (*Zamia encephalartoides*). Para la región del Valle del Cauca se estima que su cobertura original ha desaparecido en un 94% donde a hoy se encuentran estructuras de BST de entre 1 y 9 ha, y los pocos fragmentos con un área mayor a 100 ha están muy dispersos. A pesar de ello, estos parches de BST son unos de los más diversos del país, ello puede ser porque a diferencia de las otras regiones, el BST del Valle del Cauca tiene una flora variada entre las que sobresalen las familias Fabaceae, Moraceae, Lauraceae, Salicaceae, Rutaceae, Malvaceae, Annonaceae, Capparaceae, Meliaceae, Sapindaceae, Anacardiaceae y Myrtaceae. De su composición florística se estima que al menos el 80% se encuentran bajo amenaza por la deforestación, la degradación del hábitat, la sobreexplotación y la perdida de dispersores (Pizano *et al*. 2014).

El BST del Valle del Magdalena representa al 36% de los ecosistemas allí presentes, encontrándose disperso en diferentes estados de conservación donde el mayor número de remanentes se encuentran en los municipios de Alpujarra, Coyaima, Piedras y Coello (Departamento de Tolima) y Aipe (Departamento del Huila). La presión más significativa que tienen estos parches de bosque la ejerce la ganadería, los cultivos de arroz, los incendios forestales. La explotación minera y la ganadería son las causantes de que allí se encuentre suelos degradados, así como el que la regeneración natural del bosque sea limitada. Sus bosques de galería se encuentran muy degradados con vegetación secundaria de baja altura. En este sentido, sus bosques de galería no sólo han perdido su composición y estructura, sino también sus funciones ecológicas como la regulación hídrica, el control de erosión y la captura de biomasa, entre otros. En el caso del BST del Valle del río Patía se encuentra algunos relictos cerca de las riberas de las quebradas y en pequeñas extensiones en áreas planas. Muchas de sus estructuras originales fueron sustituidas por pastizales para ganadería, lo que conlleva a que frecuentemente se quemen áreas que contienen pequeñas estructuras de bosque. El BST de los llanos presenta una gran similitud con los bosques del Caribe y no es por su precipitación (ya que son bastante diferentes) sino por las condiciones de sus suelos (poca retención de agua, suelos con capa de arenas, arcillas o rocas que no permiten el flujo del agua entre la superficie y los acuíferos) que generan estrés hídrico en las plantas. Muchos de estos bosques no se han explorado en su totalidad, lo que induce a pensar que su biodiversidad puede ser mucho mayor (Pizano *et al*. 2014).

Tabla 3.1: Índice de *Sørensen* para el cuadro comparativo de las especies de *Graphis* y *Allographas* del BST en Colombia.

Región 1	**Región 2**	**Total de Especies en Región 1**	**Total de Especies en Región 2**	**Especies Compartidas**	**Índice de Sørensen**
BST Costa Caribe	BST Valle del Magdalena	82	65	32	0.44
BST Orinoquía	BST Valle del Magdalena	34	65	19	0.38
BST Orinoquía	BST Santander y Norte de Santander	34	21	9	0.33
BST Santander y Norte de Santander	BST Valle del Magdalena	21	65	14	0.33
BST Costa Caribe	BST Santander y Norte de Santander	82	21	16	0.31
BST Orinoquía	BST Valle del Cauca	34	22	8	0.29
BST Orinoquía	BST Costa Caribe	34	82	17	0.29
BST Santander y Norte de Santander	BST Valle del Cauca	21	22	6	0.28
BST Valle del Cauca	BST Valle del Magdalena	22	65	12	0.28
BST Costa Caribe	BST Valle del Cauca	82	22	13	0.25

BST Costa Caribe	BST Valle del Patía	82	0	0	0
BST Orinoquía	BST Valle del Patía	34	0	0	0
BST Santander y Norte de Santander	BST Valle del Patía	21	0	0	0
BST Valle del Cauca	BST Valle del Patía	22	0	0	0
BST Valle del Magdalena	BST Valle del Patía	65	0	0	0

5.2.1 Índices de Biodiversidad Alfa para Girardot:

En el análisis de diversidad alfa para la comunidad del género *Graphis* y *Allographas*, el índice de Shannon ($H' = 2.6438$) indicó un nivel moderado a alto de diversidad, lo que sugiere una distribución relativamente equilibrada de los individuos entre las especies presentes. Por otro lado, el índice de Simpson ($D = 8.4424$) reflejó una alta dominancia de una o pocas especies, lo que señala un posible desequilibrio en la comunidad. Esta discrepancia entre los índices podría explicarse por la sensibilidad de cada uno a diferentes aspectos de la composición de la comunidad: mientras Shannon es influido por la riqueza, Simpson enfatiza la dominancia relativa. El índice de Margalef (5.4898) mostró una buena riqueza de especies, lo que caracteriza a la comunidad como diversa y potencialmente resiliente. De manera similar, el índice de Menhinick (2.6675) confirmó una alta riqueza de especies en relación con el número total de individuos, reflejando un buen equilibrio entre la diversidad y el tamaño de la muestra.

Tabla 4: Tabla indicando la contribución de cada especie para los índices Alfa, calculando los Índices de Shannon (H') e de Simpson (D), para el municipio de Girardot.

Nº	Especie	Conteo	Pi	Índice de Shanon Pi*LnPi	Índice de Simpson Pi^2
1	*Graphis anfractuosa* (Eschw.) Eschw	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
2	*Graphis bungartzii* A.B. Peña, Lücking, Herrera-Camp. & R. Miranda	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
3	*Graphis caesiella* Vain	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
4	*Graphis disserpens* Vain	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
5	*Graphis dichotoma* (Müll. Arg.) Lücking	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
6	*Graphis epigraphis* Sp. Nov	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
7	*Graphis furcata* Fée	3	0.0316	-0.1091	0.000997230
8	*Graphis girardotensis* . Sp. Nov	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
9	*Graphis granulocarpa* Redinger	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
10	*Graphis immersicans* A.W. Archer	3	0.0316	-0.1091	0.000997230
11	*Graphis immersella* Müll. Arg	4	0.0421	-0.1334	0.001772853
12	*Graphis jejuensis* Lüking	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
13	*Graphis leptoclada* Müll. Arg	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
14	*Graphis librata* C. Knight	5	0.0526	-0.1550	0.002770083
15	*Graphis lineola* Ach.	3	0.0316	-0.1091	0.000997230
16	*Graphis maryae* . Sp. Nov	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
17	*Graphis modesta* Zahlbr	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
18	*Graphis nanodes* Vain	4	0.0421	-0.1334	0.001772853
19	*Graphis oxyclada* Müll.Arg	2	0.0211	-0.0813	0.000443213
20	*Graphis pinicola* Vain	25	0.2632	-0.3513	0.069252078
21	*Graphis puiggarii* (Müll. Arg.) Lücking	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
22	*Graphis renschiana* (Müll.Arg.) Stizenb	10	0.1053	-0.2370	0.011080332
23	*Graphis scripta* (L.) Ach.	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
24	*Graphis schiffneri* Zahlbr	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
25	*Allographa subdisserpens* (Nyl.) Lücking &	1	0.0105	-0.0479	0.000110803
26	*Graphis sp*	15	0.1579	-0.2914	0.024930748
	Total	95	1.0000	-2.6438	0.118448753
				2.6438	8.442469598

5.2.2 Curva de acumulación de especies y Rarefacción:

Curva de rarefacción individual: La Figura 9A muestra las curvas de rarefacción para los tres transectos estudiados. Los resultados sugieren que en los Transectos 1 (Tr1) y 3 (Tr3), el muestreo no fue suficiente para capturar toda la diversidad del sitio, siendo Tr1 el que se aproxima más a su diversidad total. En contraste, Tr3 presenta una curva que aún no se estabiliza, indicando una mayor insuficiencia en el muestreo. Por otro lado, el Transecto 2 (Tr2) es el que más se aproxima a un valor representativo de la diversidad total, alcanzando niveles cercanos a los umbrales comúnmente establecidos.

Curva de cobertura muestral: La Figura 9B evidencia que el muestreo realizado fue insuficiente para capturar la totalidad de la diversidad del área en los tres transectos. Tr1 alcanzó menos del 30% de cobertura, mientras que Tr3 logró niveles superiores al 80%, acercándose más a su diversidad total estimada. Tr2 alcanzó aproximadamente el 60% de cobertura, mostrando un nivel intermedio en comparación con los otros dos transectos.

Relación entre diversidad y cobertura muestral: La Figura 9C evalúa la relación entre la diversidad y el grado de cobertura muestral alcanzado. Los tres transectos muestran niveles intermedios de cobertura, con valores superiores a 7 pero sin sobrepasar 8. Esto sugiere la aparición de especies menos comunes y una tendencia hacia la estabilización de la diversidad estimada. Tr1 y Tr2 presentan valores más cercanos al límite superior, mientras que Tr3 muestra una curva que aún no se estabiliza completamente, indicando que podría registrarse mayor diversidad con un esfuerzo de muestreo adicional.

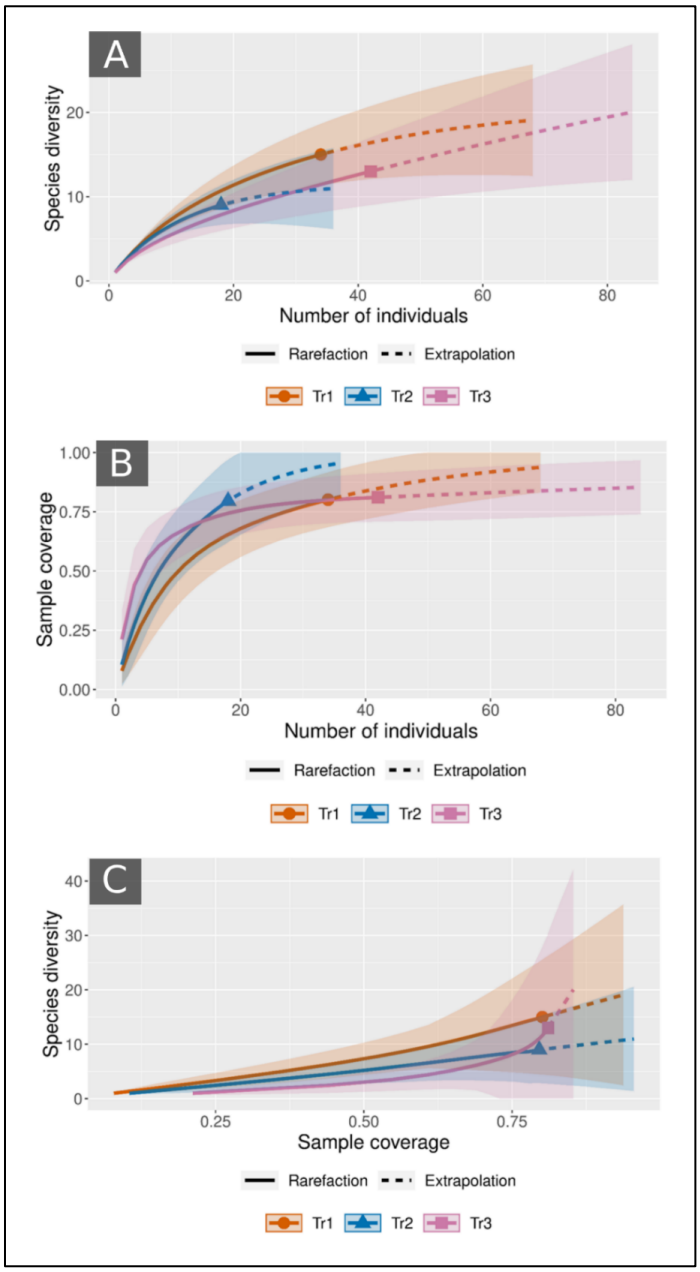


Figura 9 Curva de acumulación de especies y Rarefacción: A). Gráfico de la curva de rarefacción individual, B). Gráfico de curva de cobertura muestral, C). Evaluación entre la diversidad y el grado de cobertura muestral alcanzado.

5.2.3 Índice de Biodiversidad Beta:

Índice de Sørensen:

Valor calculado:

1. Transecto 1 vs. Transecto 2 (S = 0.182):

La similitud existente entre el TR1 y el Tr2 comparte una afinidad del 18.2%. Así se interpreta que, aunque haya similitud alguna entre sus especies presentes, la mayoría de éstas son excluidas de cada uno de ellos. Su bajo valor sugiere una composición especies en los respectivos transectos poco similar. ¿por qué en estos se comparten más especies que entre Tr 1 y Tr3?, Puede ser que la estadística para el Transecto 3 sea lo suficientemente alta que haga parecer que el Tr1 y Tr2 compartan más especies (se vean más similares).

2. Transecto 1 vs. Transecto 3 (S = 0.152):

La similitud existente entre el Tr1 y el Tr3 es de tan solo 15.2%. Siendo este valor menos que el de la comparación entre el Tr1 y el Tr2. Pudiéndose interpretar de esto que, entre el Tr1 y el Tr3 existe aún menos similitud que la observada en la comparación entre el Tr1 y el Tr2

3. Transecto 2 vs. Transecto 3 (S = 0.133):

Para la comparación entre estos transectos el porcentaje de similitud es más bajo, can tal solo un 13.3% de similitud. El poco número de especies compartidos en estos transectos sugiere que cada uno tiene una composición de especies muy diferente entre sí.

Puede observarse en el cálculo que, la similitud entre los transectos es de menos del 20% para cada uno de los casos. Estos porcentajes sugieren que la composición de las especies es diferente entre los transectos. Dentro de sus similitudes se puede observar que en transecto 1 tiene una mayor afinidad de especies con el transecto 2, más que con el transecto 3. Siendo la diferencia pequeña. Como los transectos 2 y 3 fueron los que menos similitud tuvieron, se interpreta estos sitios como los más diferentes en término de su composición de especies (Tabla 5).

Índice de Jaccard:

Valor calculado:

1. Transecto 1 vs. Transecto 2 (J = 0.100):

La similitud que comparte el Tr 1 y el Tr2 es de solo el 10% por lo que comparten pocas especies en común, siendo su grueso excluido para los dos transectos.

2. Transecto 1 vs. Transecto 3 (J = 0.111):

Para la comparación entre el Tr1 y el Tr3 se obtiene una afinidad del 11.1%. Referenciándose de esta manera una afinidad ligeramente más similar entre estos dos transectos, a diferencia de la comparación con el Tr2.

3. Transecto 2 vs. Transecto 3 (J = 0.105):

La afinidad entre estos transectos (10.0%) no es muy diferente del primer caso. Por lo que se interpreta, de igual manera, como baja similitud entre transectos.

El que los tres transectos no superaran más allá del 10% de afinidad, habla de que en sus composiciones existes muy pocas especies en común. Con composiciones altamente diferentes valdría preguntarse por las condiciones ambientales, microhábitats, o alguna variabilidad ecológica entre transectos (Tabla 5).

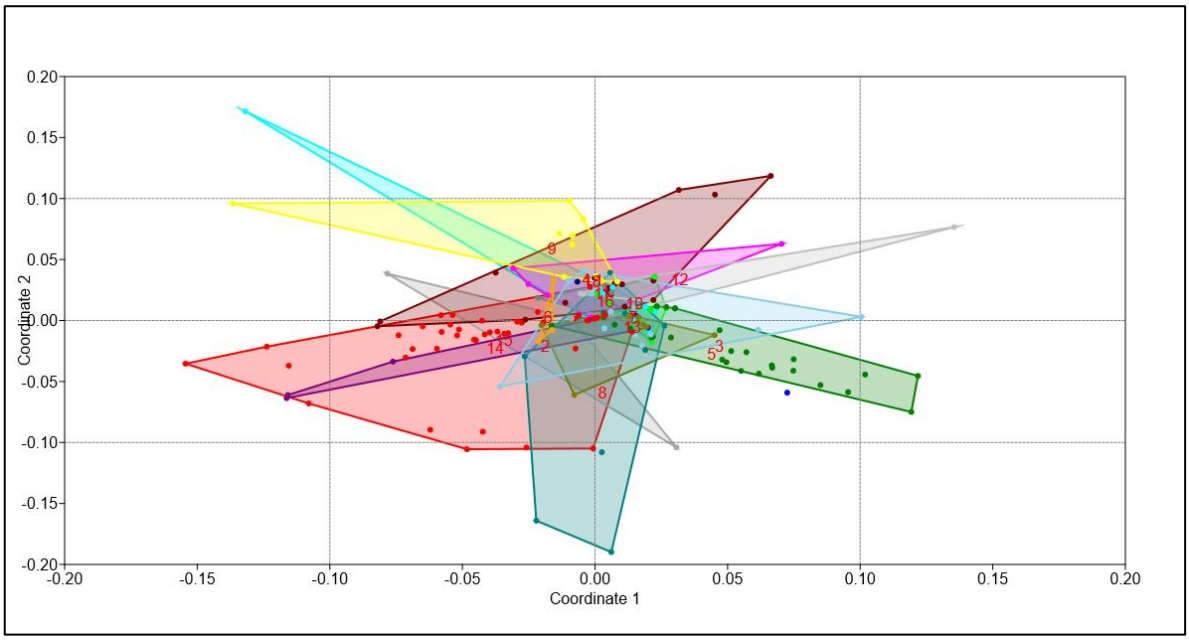
Tabla 5 Tabla para índices Beta entre los tres transectos, calculando los Índices de Sørensen y de Jaccard.

ÍNDICE DE SIMILITUD Sørensen Y Jaccard							
BsT	Transecto	Tr 1	Tr2	Tr3	Sp. Común Tr1- Tr2	Sp. Común Tr1- Tr3	Sp. Común Tr2- Tr3
Nº	Especie	sp	sp	sp			
1	*Graphis anfractuosa* (Eschw.) Eschw			1			
2	*Graphis bungartzii* A.B. Peña, Lücking, Herrera-Camp. & R. Miranda	1					
3	*Graphis caesiella* Vain	2					
4	*Graphis disserpens* Vain	1		1		X	
5	*Graphis dichotoma* (Müll. Arg.) Lücking		1				
6	*Graphis epigraphis* Sp. Nov			2			
7	*Graphis furcata* Fée	3					
8	*Graphis girardotensis* . Sp. Nov	2					
9	*Graphis granulocarpa* Redinger			1			
10	*Graphis immersicans* A.W. Archer	2	1		X		
11	*Graphis immersella* Müll. Arg	1		3		X	
12	*Graphis jejuensis* Lüking			1			
13	*Graphis leptoclada* Müll. Arg			1			
14	*Graphis librata* C. Knight	1	1	5	X	X	X
15	*Graphis lineola* Ach.		2	1			X
16	*Graphis maryae* . Sp. Nov	1					
17	*Graphis modesta* Zahlbr	2					
18	*Graphis nanodes* Vain	3		1		X	
19	*Graphis oxyclada* Müll.Arg		2				
20	*Graphis pinicola* Vain	5	2	18	X	X	X
21	*Graphis puiggarii* (Müll. Arg.) Lücking		1				
22	*Graphis renschiana* (Müll.Arg.) Stizenb	7	3		X		
23	*Graphis scripta* (L.) Ach.			1			
24	*Graphis schiffneri* Zahlbr	1					
25	*Allographa subdisserpens* (Nyl.) Lücking &	1					
26	*Graphis sp*	4	5	6	X	X	X
	Número de especies	37	18	42			
	Número de Sp en común				5	6	4
	Índice de Sørensen				0.182	0.152	0.133
	índice de Jaccard				0.100	0.111	0.000

5.2.4 nMDS y ANOSIM:

El estadístico ANOSIM de una vía usando la distrancia *Bray-curtis*, indica una diferenciación entre los grupos evaluados con un R= 0.5779. Este R habla de un grado moderado a alto de separación entre los grupos. Esto indica que las comunidades en las diferentes localidades de BST en Colombia son relativamente distintas entre sí. Valores cercanos a uno indican un alto grado de separación entre los grupos, a diferencia de los resultados cercanos a 0 que implica ninguna diferencia entre ellos.

Los resultados que referencian el azar dentro de las comunidades nos son altos (p=0.0001), encontrándose más bajo que el umbral convencional de 0.05. Esta diferencia estadísticamente significativa en términos de su composición o estructura puede verse reflejada en el cuadro del análisis nMDS (Fig 10). Su estado de conservación, junto con las variables climáticas pueden estar influenciando la composición de la comunidad de *Graphis*.



Permutation N: 9999

Mean rank within: 5244

Mean rank between: 1.147E04

R: 0.5779

p (same): 0.0001

Figura 10 Análisis nMDS de la Composición de Comunidades de *Graphis* en Localidades de Bosque Seco Tropical de Colombia (Datos ANOSIM, Base de datos SIB Colombia y compilación bibliográfica)

5.2.5 Análisis de agrupamiento (Clústers):

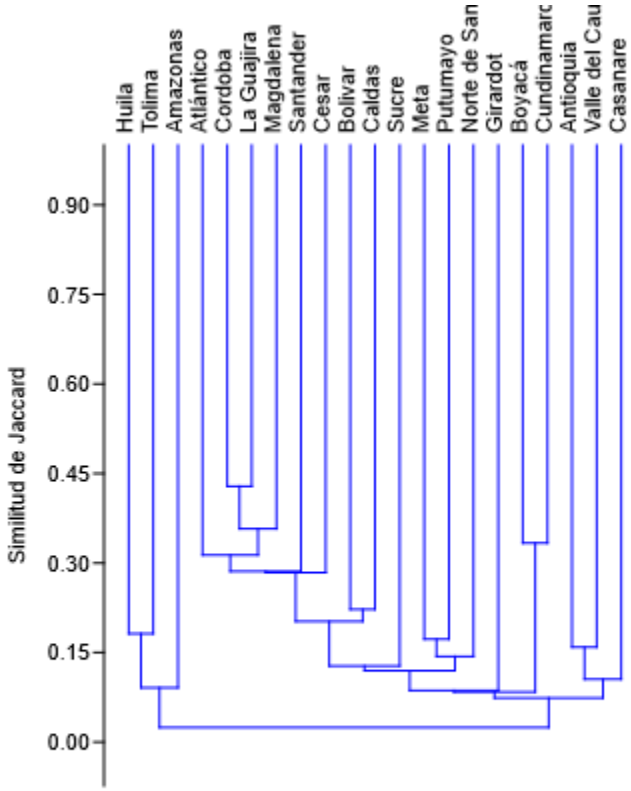
Los datos de precipitación promedio anual (2000-2024) muestran una marcada variabilidad entre los departamentos estudiados, con valores que oscilan entre 943.77 mm en La Guajira, caracterizada por condiciones áridas, hasta 4213.69 mm en Putumayo, una región de alta pluviosidad asociada a su ubicación en el piedemonte amazónico. Departamentos como Putumayo, Meta y Amazonas superan los 3,000 mm promedio anuales a diferencia de las zonas del Caribe y Andinas , como Atlántico, Cundinamarca y Girardot, presentan precipitaciones promedio inferiores a los 1,300 mm (Tabla 6). Estos resultados reflejan la diversidad climática de Colombia en las zonas de BST, influenciada por factores geográficos como la altitud, la cercanía al océano y la presencia de cordilleras.

Tabla 6 Precipitación promedio del BST por departamento entre 2000-2024

Departamento	Precipitación promedio (mm) 2000-2024
Amazonas	3241.47
Antioquia	2498.18
Atlántico	1121.25
Bolívar	2069.46
Boyacá	2014.61
Caldas	2033.32
Casanare	2795.80
Cesar	1654.44
Córdoba	1608.26
Cundinamarca	1215.13
Huila	1474.40
La Guajira	943.77
Magdalena	1428.92
Meta	3902.67
Norte de Santander	1633.85
Putumayo	4213.69
Santander	2225.03
Sucre	1675.96
Tolima	3659.33
Valle del Cauca	1961.83
Girardot	1275.33

Los departamentos se juntan en al menos dos grupos bien definidos, lo que evidencia diferencias marcadas en sus composiciones de especies (Figura 11). El primer grupo está conformado por Huila, Tolima y Amazonas. El segundo incluye a los departamentos de Valle del Cauca, Casanare, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Santander, Caldas, Norte de Santander, Meta, Putumayo, Antioquia, Sucre, Atlántico, Boyacá, Cundinamarca y Girardot. El primer grupo podría estar relacionado con el bajo número de registros de especies en estos departamentos. Por su parte, Girardot forma un subgrupo separado, posiblemente debido a su condición de nueva zona de estudio; sin embargo, muestra mayor similitud con Boyacá, Cundinamarca, Meta, Putumayo y Norte de Santander. Dentro del

grupo 2 se identifican dos subgrupos principales. Por un lado, Valle del Cauca y Casanare se separan rápidamente, con una similitud baja (0.15), lo que indica diferencias significativas en sus composiciones de especies. Por otro lado, el resto de los departamentos se agrupan de manera jerárquica. En este último subgrupo, destaca que Córdoba, La Guajira y Magdalena presentan la mayor afinidad entre sus especies, con niveles de similitud entre 0.30 y 0.45 (Figura 11).



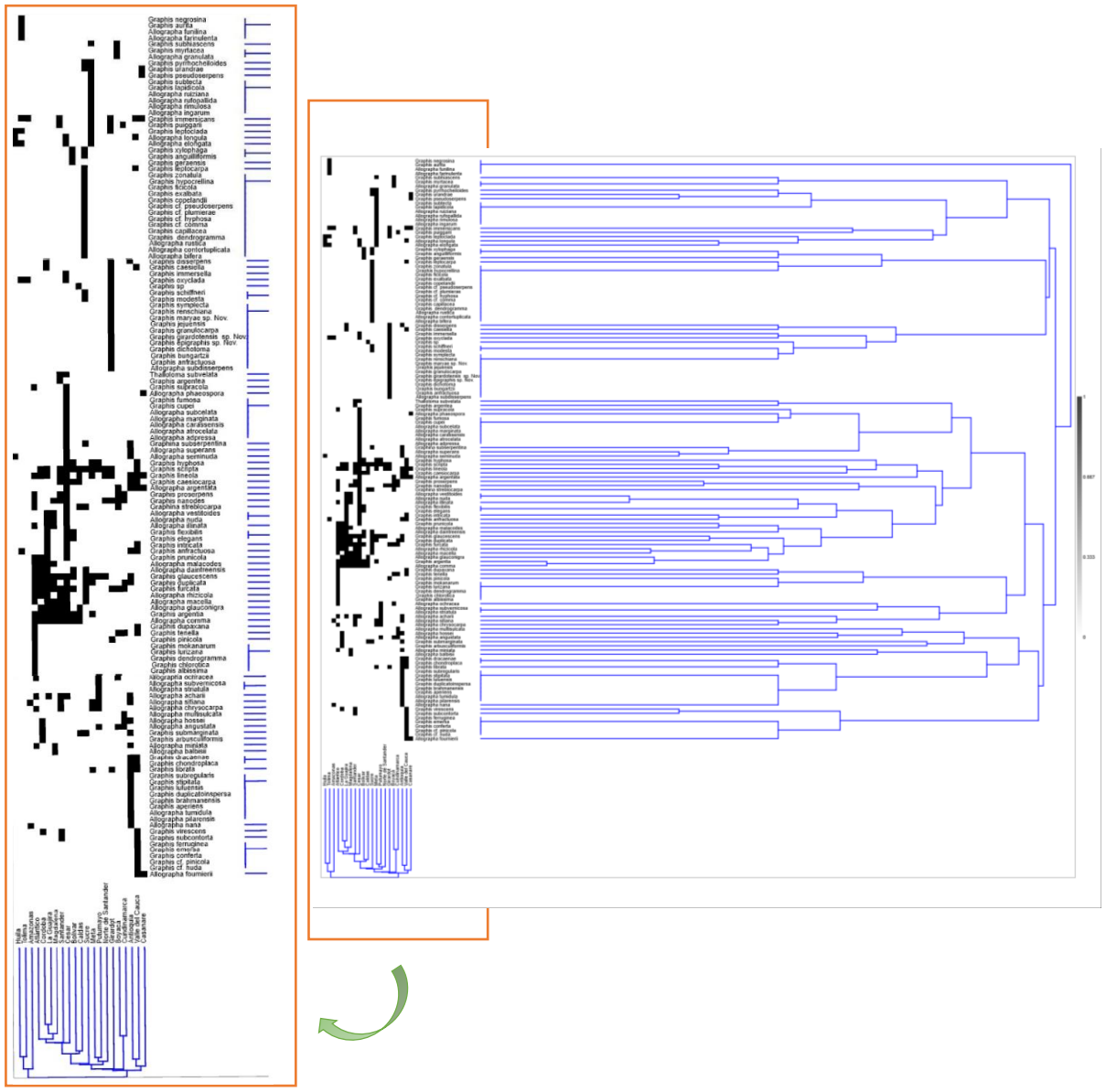


Figura 11 Análisis clúster por distancia de Jaccard para agrupar departamentos según precipitación y composición de especies de *Graphis* y *Allographas*.

5.3 Evaluación de los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*.

5.3.1 Modelado de la presencia del hábitat en función de variables climáticas:

Los registros existentes para *Graphis anfractuosa* permiten modelar sitios aptos para la especie en sus respectivos lugares de reporte. Su presencia en las Coordilleras Central y la Coordillera Occidental, muestra en qué medida, al poder existir variabilidades climáticas en los biomas, que, por un lado, favorezca el aumento de temperaturas y a su vez, por otro, tiempos de sequía más prolongados en zonas más elevadas, será allí un lugar idóneo para el desarrollo de la especie (Fig 12. A). A su vez, resulta válido pensar en la distribución que ha sido registrada para esta especie. Su presencia en zonas Norte del país, que luego se reportan en zonas intermedias y bajas de la Cordillera Central y Occidental, nos permite demostrar que existe una gran posibilidad de que, al tener más reportes de las zonas intermedias (regiones no exploradas), se pueda tener una comprensión diferente de los biomas idóneos sobre las tres cordilleras. La especie podría tener un corredor ecológico a través de las Cordilleras hasta converger en el Macizo colombiano, su presencia en las C. Central y el la C. Occidental se explica en el gráfico (Fig 12. A). Por sus condiciones climáticas y de ubicación, puede explicarse la existencia de reportes para *G. anfractuosa* en las zonas secas del norte del país. Una variación, a futuro considerables, de las condiciones modeladas (Bio04, Bio05, Bio14 y Bio16) puede hacer más idóneas las condiciones donde aún no se ha registrado esta especie, de llegarse a obtener más datos frente a estos territorios, el modelo puede variar (Fig 12.B). Factores como el desarrollo industrial (que no se miden en este programa) hacen pensar en ¿Qué tanto variaría la modelación al contemplar estas variantes?

Graphis caesiella tiene pocos registros (Fig 12. C), de allí que se pueda explicar que el modelamiento considere idónea toda la extensión de la C. Central, hasta donde se encuentra con las zonas secas del Norte del país. La C. Occidental al presentar registros (pocos), se modela en sus justos rangos de presencia de acuerdo a los datos existentes (color anaranjado, ya no muy rojo). Nuevamente, se predice que en un futuro al variar Bio04, Bio05, Bio14, Bio15 se volverá más idóneo en su extensión sobre las cordilleras de manera similar que en *G. anfractuosa*. En donde es más claro, por ejemplo, el aumento de presencia entre Atlántico y Córdoba, lugar en el que aún no ha sido registrada la especie (Fig 12. D).

Para *Graphis furcata* se tienen más registros hacia la zona Norte del país, siendo Girardot, Cundinamarca un nuevo punto de reporte (Fig 12. E). Llama la atención los reportes que se hacen hacia los llanos colombianos porque, aunque son pocos y están muy cercanos, se encuentra en un lugar donde se modela que su presencia será más alta. Así, puede ser que, al no existir estudios en la zona, se pueda considerar altamente probable que puedan estar presente la especie en las zonas de llanura más profunda. Su biogeografía resulta interesante porque nos permite preguntarnos ¿Cómo está presente la especie presente de manera Cisandina y Trasandina? El modelo que predice de acuerdo a las variaciones climáticas la presencia entre 2021-2040 (Fig 12. F) nos permite inferir algunos datos. Se observa que, al reportar Girardot, Cundinamarca como una nueva localidad en la que se reporta esta especie, permite originar una predicción de presencia con un leve incremento de zonas de preferencia hacia lo que se referencia como el Valle Medio del Magdalena. La distribución puede cambiar significativamente ya que, al no existir otros reportes para el V. medio del Magdalena, no es posible hablar sobre la base de realidad de la especie en la zona. La zona

norte tiene datos más completos que pueden confirmar un incremento de preferencia en las zonas existentes, con potencial expansión hacia territorios cercanos, ¿qué cambios significativos, a nivel de bosque seco, nos puede estar mostrando el modelo para la zona Norte de Colombia? (Fig 12. F).

En *Graphis immersicans* (Fig 12. G), con los datos existentes, se pudo hacer una comparación entre Girardot, Cundinamarca y regiones del Casanare hacia la zona de Yopal. Las predicciones del modelo se encuentran incompletas, lo que se puede inferir de pocos reportes en zonas donde se modela que existe una alta preferencia por los biomas que allí se desarrollan. La C. Oriental resulta ser la barrera geográfica que, nuevamente, nos hace pensar ¿cómo es posible que, para esta especie, los únicos registros hechos, la reporte para zonas Cis y Trasandinas? (Fig 12. H). Algunas zonas elevadas de las Cordillera se modelan como sitios en los que su probabilidad de preferencia aumenta con el tiempo ¿qué podría significar que, eventualmente, la especie se reporte para zonas elevadas de la Cordillera? Cabe recordar que se escribe sobre la base de la existencia de pocos registros.

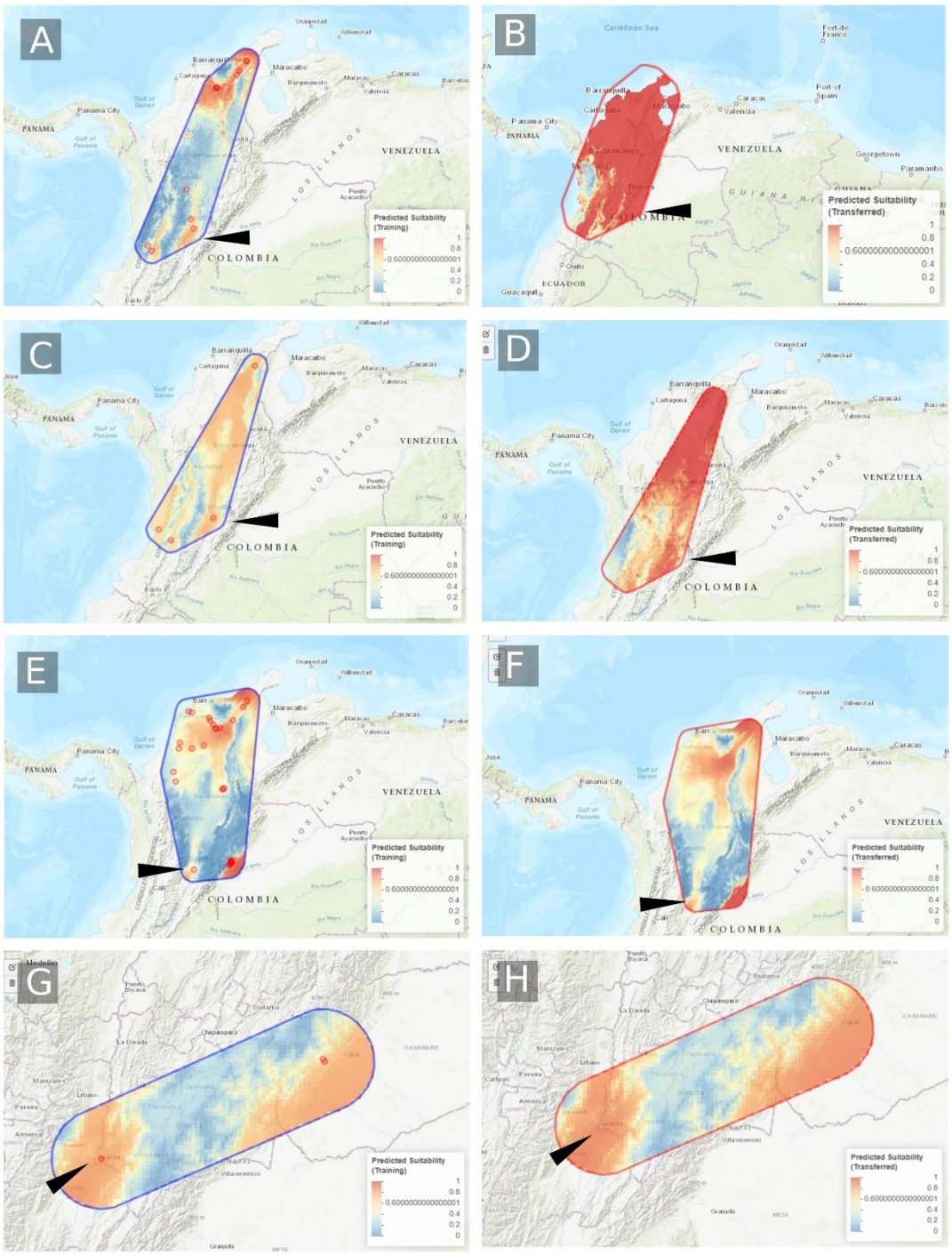


Figura 12 Modelamiento de distribución potencial para el género *Graphis*, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. A-B) *G. anfractuosa*, C-D) *G. caesiella*, E-F) *G. furcata*, G-H) *G. immersicans*.

El número de especímenes reportadas para *G. librata* no alcanzan a ser suficientes para permitir desarrollar ideas claras sobre su distribución modelada. Obsérvese que los reportes están dados

para Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca (Fig 13. I). Por sus números de reportes entre Antioquia y Valle del Cauca, sus zonas intermedias presentan baja probabilidad de presencia (esto lo confirma la poca coloración anaranjada que existe entre ambos lugares, aunque, no sin presentar cierta linealidad). ¿Cómo podría variar esa zona intermedia, si estudios futuros reportaran esta especie para allí? Así, aunque en el Valle medio del Magdalena se tenga el nuevo reporte de Girardot, Cundinamarca, por sus condiciones climáticas es una zona que presenta mayor presencia para esta especie (Fig 13. J).

En *Graphis lineola*, su presencia resulta más abundante y mejor registrada en Colombia para la región que comprende desde Valle medio del Magdalena (municipio de Girardot como nuevo reporte), pasando por zonas de Santander hasta encontrarse con los departamentos de Atlántico y La Guajira, donde los grados de presencia se pueden interpretar como idóneos. Llama la atención aquellos lugares donde se reportan las especies para lugares donde las condiciones resultan no ser tan idóneas para la especie (Fig 13. K). Para el Valle del Cauca, se puede interpretar que por sus condiciones ambientales y bajo la presencia de algunos reportes para *G. lineola*, su ecosistema tiene grados de presencia que pueden aumentar con el reporte de posibles nuevos registros, así está zona se modela un poco amarilla y en el modelo a futuro adquiere mejores condiciones de presencia en el territorio (Fig 13. K, L). La falta de reportes dados para la región de los llanos centra la mirada de las especies que allí se encuentran ¿Se podrá tratar de la misma especie?

Graphis modesta es una especie cuyos únicos reportes se tienen para regiones cercanas a Sincelejo, Sucre y Girardot, Cundinamarca (siendo este un nuevo lugar de reporte). Como se puede observar en la Figura 13.M, las zonas para las que ha sido reportada la especie presenta un grado considerable de presencia, pero entre ellos no se sabe qué es lo que sucede. De esta manera, las zonas de presencia tratan de extenderse dando la impresión que, de poder existir datos entre estas localidades, es viable considerar niveles de presencia entre estos reportes. La variación de las condiciones climáticas evaluadas (Bio04, Bio05, Bio14 y Bio15) puede reafirmar la presencia de esta especie en estos lugares con mayores grados de presencia (Fig 13. N).

Graphis nanodes presenta reportes para localidades en Magdalena y César, Otros reportes se han efectuado para Santander, Casanare y Girardot (Fig 13. O). Estos lugares de muestreo se presentan ampliamente idóneos para la existencia de la especie. Pudiendo sugerir que, es la C. Central la que permite un flujo para la especie sobre el territorio, para que ello se requiere de más datos que permitan entender lo que sucede sobre la Cordillera y así extenderse al reporte que se hace para el Casanare. La variación de las condiciones seleccionadas para el modela, a futuro, revelan un incremento de presencia para las zonas donde ha sido reportada. Esto puede variar considerablemente al tener otros reportes de las regiones de BST del país (Fig 13. P).

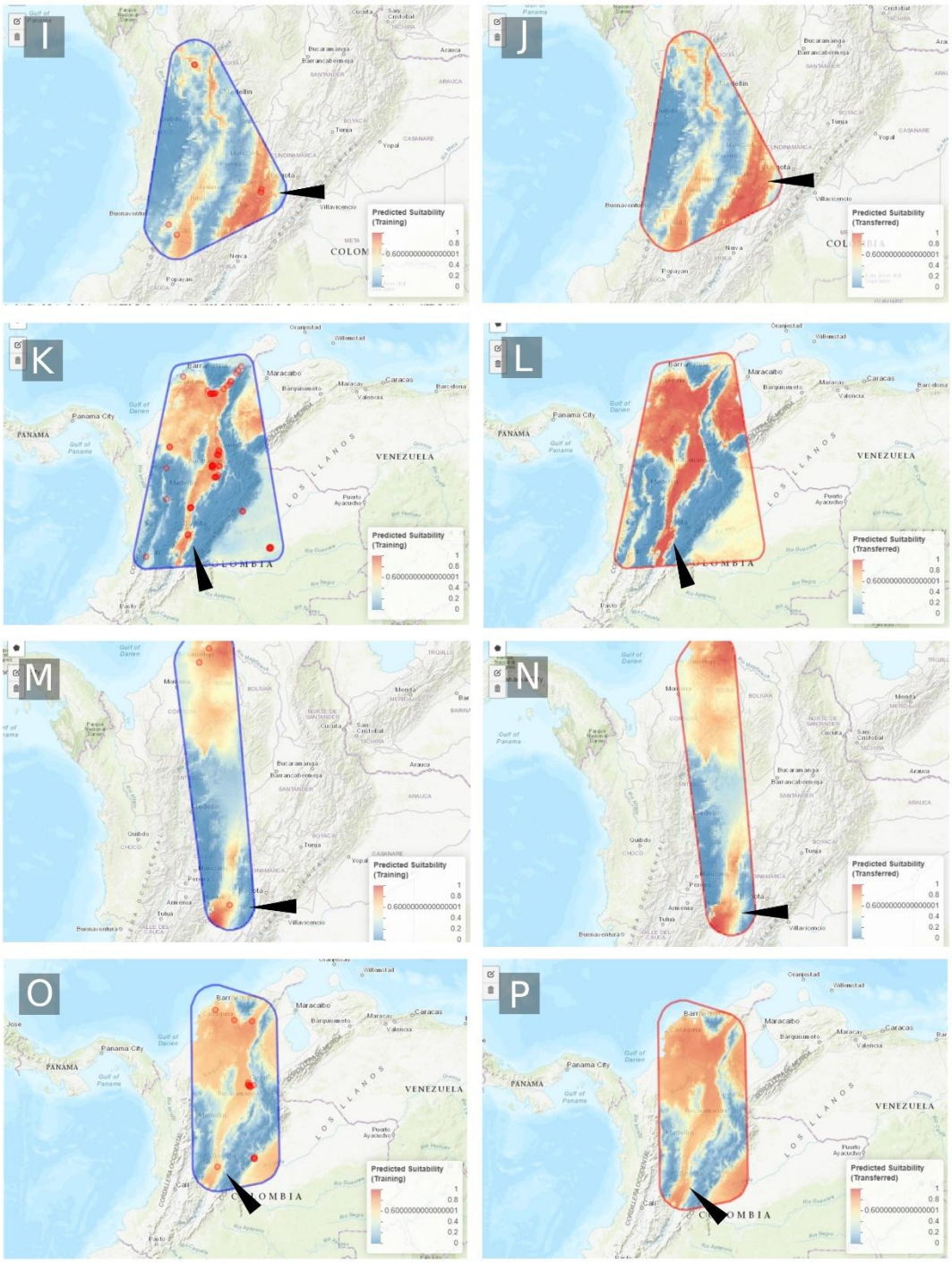


Figura 13 (continuación) Modelamiento de distribución potencial para el género *Graphis*, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. I-J) *G. librata*, K-L) *G. lineola*, M-N) *G. modesta*, O-P) *G. nanodes.*

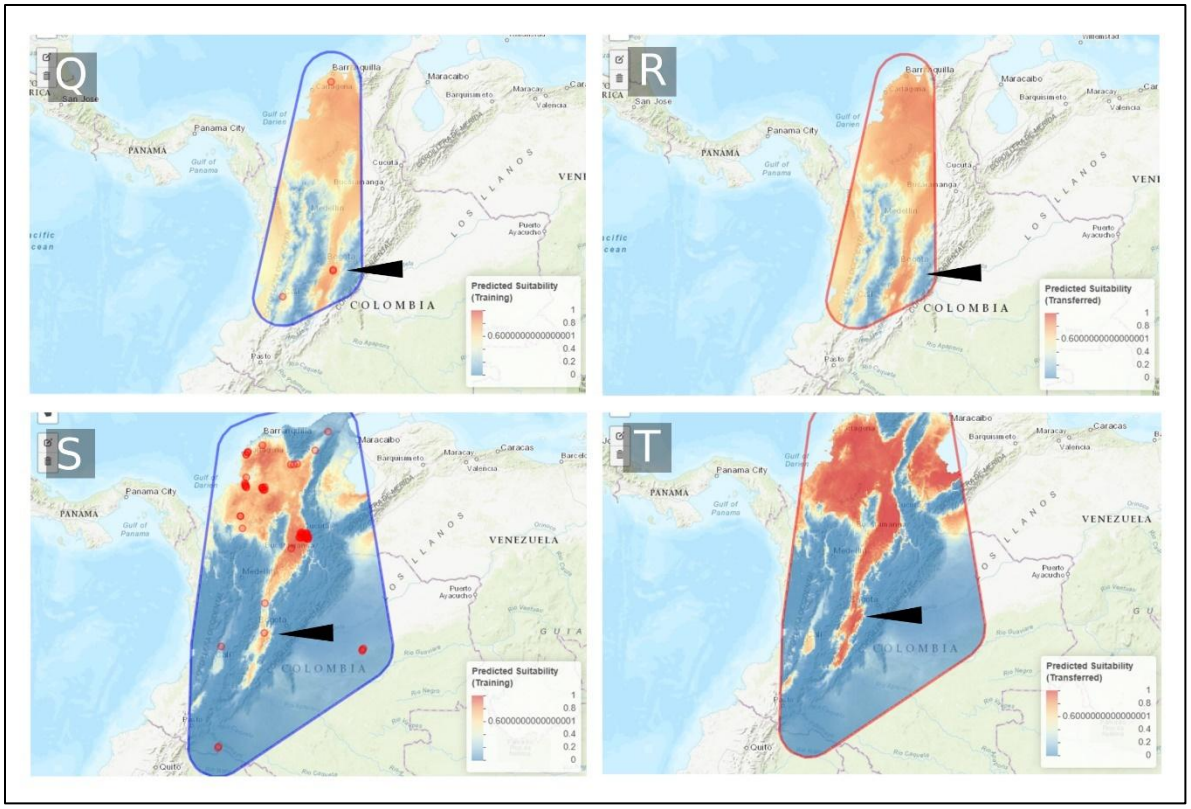


Figura 14 (continuación): Modelamiento de distribución potencial para el género *Graphis*, Lado izquierdo: modelo actual, Lado derecho: predicción 2021-2040, Flecha referenciado el Municipio de Girardot. Q-R) *G. pinicola*, S-T) *G. scripta.*

De todas las especies de *Graphis* presentes en Girardot, solo fue posible modelar algunas (Fig 12,13 y 14) debido a que no existían mayores registros de observación en las bases de datos consultadas. Las especies que no se pudieron modelar fueron: *G. bungartzii*, *G. deserpens*, *G. dichotoma*, *G. epigraphis* sp. nov., *G. girardotensis* sp. nov., *G. granulocarpa*, *G. immersella*, *G. jejuensis*, *G. leptoclada*, *G. maryae* sp. nov., *G. oxyclada*, *G. puiggari*, *G. renschiana*, *G. schiffneri*, *G. subdisserpens*.

Al observarse los resultados presentados en los modelos se puede inferir que, en el escenario actual, muchas de las zonas de BST son áreas de alta probabilidad de presencia para *Graphis*. Sugiere que existe un equilibrio en las condiciones ambientales preestablecidas. Cuando se proyecta el modelo al futuro, es posible evidenciar cambios en el aumento de las zonas con alta probabilidad o favorables para las especies de *Graphis* presentes allí (así graficadas de un color rojo más intenso). Esto nos lleva a pensar que las especies pueden mantener rangos de dispersión normales e incluso poder ocupar otros nichos ecológicos cercanos. Si se tiene en cuenta la resiliencia del género a las cambios o perturbaciones en sus ecosistemas, esto podría estar significando la pérdida de especies de líquenes que son menos tolerantes, reflejándose una diferenciación abrupta de la composición y estructuras de las comunidades liquénicas que habitan el bosque seco. El Municipio de Girardot sufre todas sus consecuencias de manera directa, esto resulta alarmante cuando se piensa que de la zona se tiene muy poca información de sus comunidades liquénicas.

Las métricas arrojas por el programa, como el AUC; mostraron un desempeño bueno de los modelos. Estos índices nos dan a entender que el modelo tiene una capacidad para discriminar las áreas favorables y desfavorables para las especies. Los modelos presentados nos invitan a la búsqueda de nuevas evaluaciones de especies de líquenes claves para este tipo de ecosistemas, remarcando la importancia que subyace de organizar estrategias de conservación que mitiguen los efectos del cambio climático.

5.3.2 Guía rápida ilustrada tipo *Field Museum* para la determinación de especies del género *Graphis* para el Municipio de Girardot, Cundinamarca, Colombia (inédito):

Con los resultados de esta investigación se generó la siguiente guía de campo para la identificación de las especies del género *Graphis* en el municipio de Girardot, Cundinamarca

Girardot, Cundinamarca, Colombia
Graphis corticolas de tres zonas veredales de Girardot

1

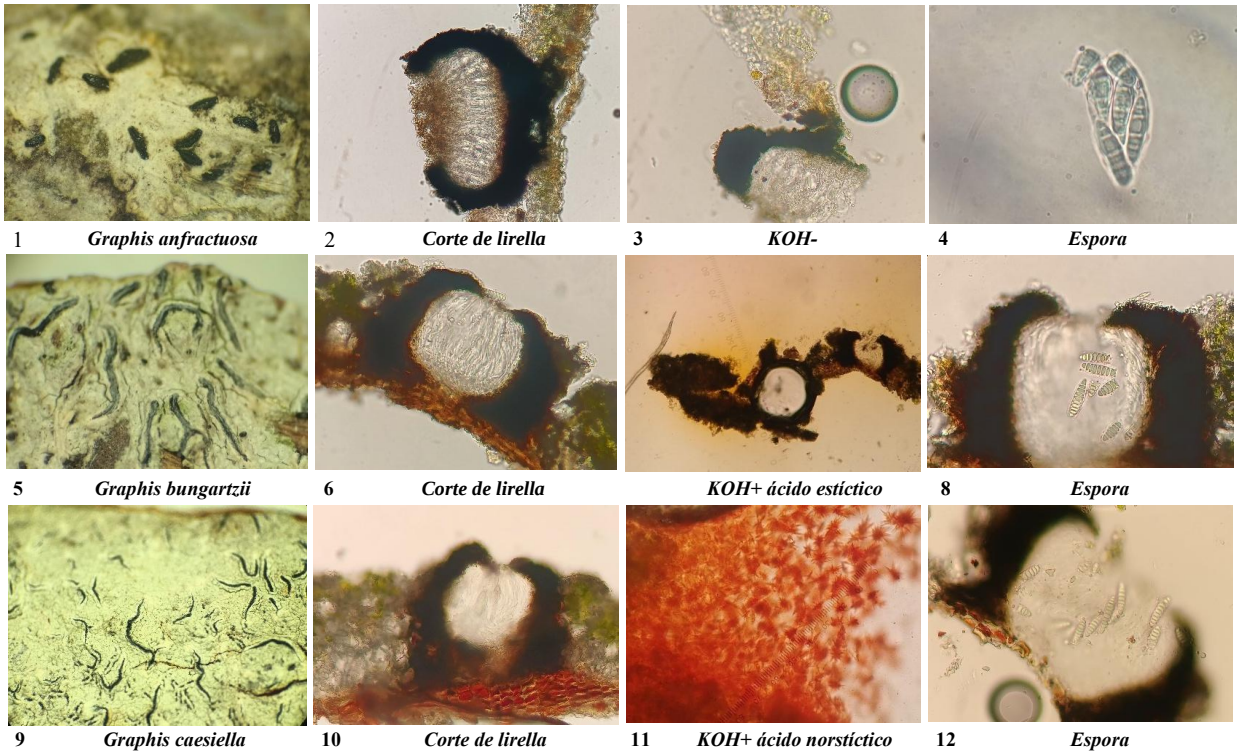
Carlos Estiven Lara Rojas

Fotos por Carlos Lara. Producido por: Carlos Lara. Con el apoyo de con el apoyo del Herbario Forestal UDBC- sección criptógamas y Bibiana Moncada. © **C. Lara [carlitos2054lara@gmail.com] Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas**© Science & Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605 USA. [http://fieldmuseum.org/IDtools] [rrc@fieldmuseum.org] **Rapid Color Guide** # XXX versión 1 10/2013



Bosque seco Tropical en Girardot Cundinamarca, Colombia
Río temporal en la vía Mirador El arbolito

Girardot es un municipio situado en el departamento de Cundinamarca, Colombia, a 326 m.s.n.m, a orillas del río Magdalena y a aproximadamente 134 kilómetros al suroeste de Bogotá. Caracterizado por ecosistemas de Bosque Seco Tropical y ribereños, presenta una vegetación adaptada a condiciones de alta temperatura y baja precipitación, fundamentales para la regulación climática y la biodiversidad local. Alberga una variedad de especies de flora y fauna, incluyendo ceibas, guayacanes, varias cactáceas, aves como garzas y loros, pequeños mamíferos y reptiles, además de diversas especies de peces y aves acuáticas en el río Magdalena. Sin embargo, enfrenta amenazas ecológicas como la deforestación, la expansión urbana y la contaminación del río, lo cual ha llevado a la pérdida de hábitats naturales y afectado la biodiversidad y la calidad del agua. Girardot es un importante centro turístico gracias a su clima cálido y sus recursos naturales, con actividades económicas principales que incluyen el turismo, el comercio y la agricultura, destacándose cultivos como el arroz, el maíz y la caña de azúcar, además de ser conocido por sus actividades recreativas ensus ríos aledaños



1 ***Graphis anfractuosa*** 2 ***Corte de lirella*** **3** ***KOH-*** **4** ***Espora***

5 ***Graphis bungartzii*** **6** ***Corte de lirella*** ***KOH+ ácido estíctico*** **8** ***Espora***

9 ***Graphis caesiella*** **10** ***Corte de lirella*** **11** ***KOH+ ácido norstíctico*** **12** ***Espora***

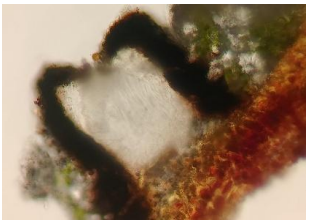
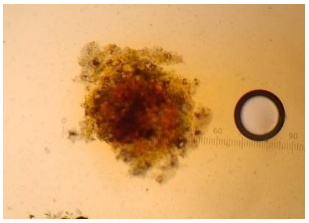
Girardot, Cundinamarca, Colombia 2

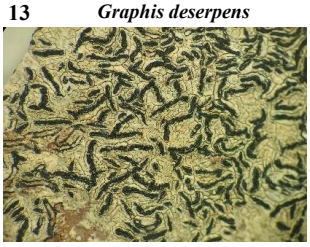
Graphis corticolas de tres zonas veredales de Girardot

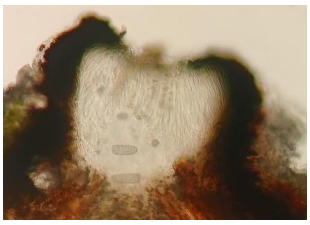
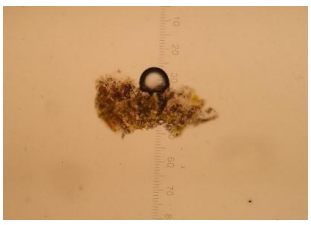
Carlos Estiven Lara Rojas

Fotos por Carlos Lara. Producido por: Carlos Lara. Con el apoyo de con el apoyo del Herbario Forestal UDBC- sección criptógamas y Bibiana Moncada.
© C. Lara [carlitos2054lara@gmail.com] Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas© Science & Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605 USA. [http://fieldmuseum.org/IDtools] [rrc@fieldmuseum.org] **Rapid Color Guide** # XXX versión 1 10/2013

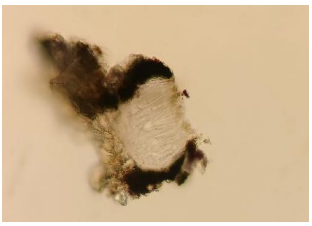
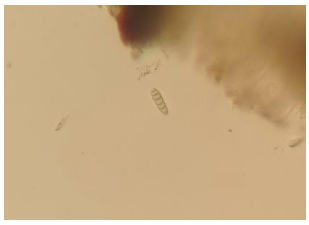


13 ***Graphis deserpens***  **14** ***Corte de lirella***  **15** ***KOH+ ácido estíctico***  **16** ***Espora***

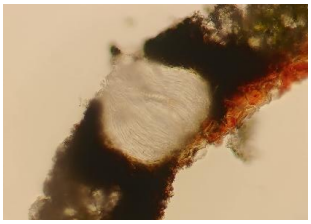
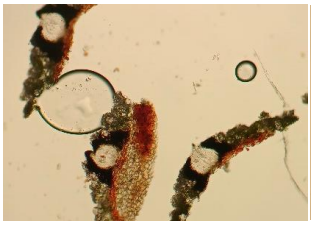


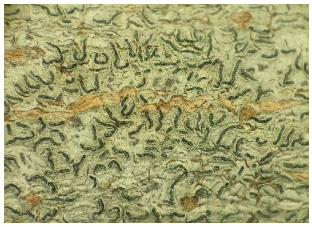
17 ***Graphis dichotoma***  **18** ***Corte de lirella***  **19** ***KOH-***  **20** ***Espora***

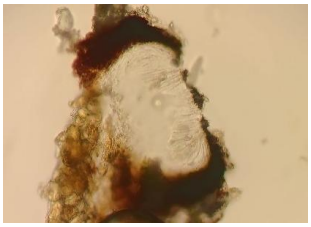


21 ***Graphis epigraphis***  **22** ***Corte de lirella***  **23** ***KOH-***  **24** ***Espora***



25 ***Graphis furcata***  **26** ***Corte de lirella***  **27** ***KOH-***  **28** ***Espora***



29 ***Graphis girardotensis***  **30** ***Corte de lirella***  **31** ***KOH-***  **32** ***Espora***

Girardot, Cundinamarca, Colombia
Graphis corticolas de tres zonas veredales de Girardot

3

Carlos Estiven Lara Rojas

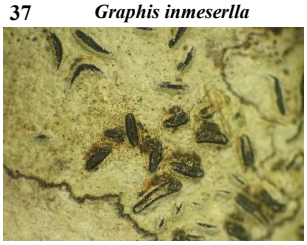
Fotos por Carlos Lara. Producido por: Carlos Lara. Con el apoyo de con el apoyo del Herbario Forestal UDBC- sección criptógamas y Bibiana Moncada. © **C. Lara [carlitos2054lara@gmail.com] Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas**© Science & Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605 USA. [http://fieldmuseum.org/IDtools] [rrc@fieldmuseum.org] **Rapid Color Guide** # XXX versión 1 10/2013



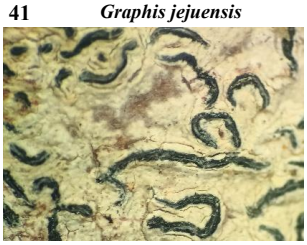
33 ***Graphis inmersicans*** **34** ***Corte de lirella*** **35** ***KOH-.*** **36** ***Espora***



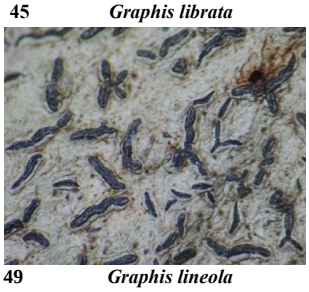
37 ***Graphis inmeserlla*** **38** ***Corte de lirella*** **39** ***KOH+ ácido estíctico*** **40** ***Espora***



41 ***Graphis jejuensis*** **42** ***Corte de lirella*** **43** ***KOH- inspersión tipo A*** **44** ***Espora***



45 ***Graphis librata*** **46** ***Corte de lirella*** **47** ***KOH+ ácido norstíctico*** **48** ***Espora***



49 ***Graphis lineola*** **50** ***Corte de lirella*** **51** ***KOH-*** **52** ***Espora***

Girardot, Cundinamarca, Colombia 4

Graphis corticolas de tres zonas veredales de Girardot

Carlos Estiven Lara Rojas

Fotos por Carlos Lara. Producido por: Carlos Lara. Con el apoyo de con el apoyo del Herbario Forestal UDBC- sección criptógamas y Bibiana Moncada.
© C. Lara [carlitos2054lara@gmail.com] Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas© Science & Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605 USA. [http://fieldmuseum.org/IDtools] [rrc@fieldmuseum.org] **Rapid Color Guide # XXX** versión 1 10/2013



53 ***Graphis modesta***



54 ***Corte de lirella***



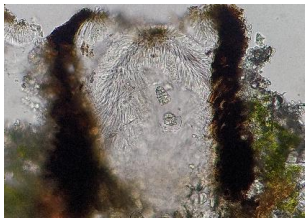
55 ***KOH+ ácido estíctico***



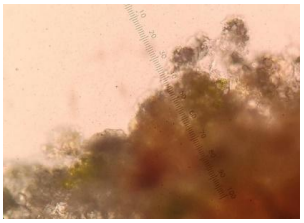
56 ***Espora***



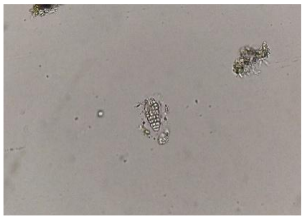
57 ***Graphis nanodes***



58 ***Corte de lirella***



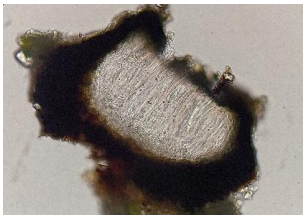
59 ***KOH-***



60 ***Espora***



61 ***Graphis oxyclada***



62 ***Corte de lirella***



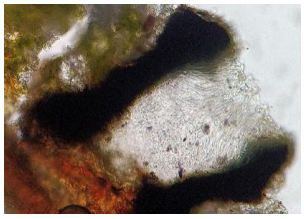
63 ***KOH+ ácido norstíctico***



64 ***Espora***



65 ***Graphis pinicola***



66 ***Corte de lirella***



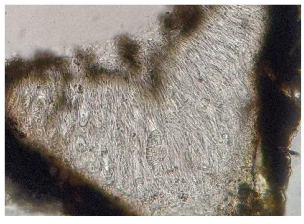
67 ***KOH-***



68 ***Espora***



69 ***Graphis puigairii***



70 ***Corte de lirella***



71 ***KOH-***



72 ***Espora***

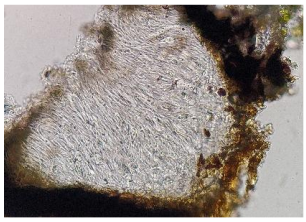
Girardot, Cundinamarca, Colombia 5
Graphis corticolas de tres zonas veredales de Girardot

Carlos Estiven Lara Rojas

Fotos por Carlos Lara. Producido por: Carlos Lara. Con el apoyo de con el apoyo del Herbario Forestal UDBC- sección criptógamas y Bibiana Moncada.
© C. Lara [carlitos2054lara@gmail.com] Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas© Science & Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605 USA. [http://fieldmuseum.org/IDtools] [rrc@fieldmuseum.org] **Rapid Color Guide** # XXX versión 1 10/2013



73 ***Graphis renschiana***



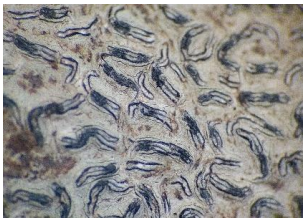
74 ***Corte de lirella***



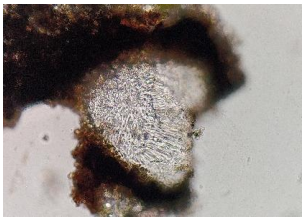
75 ***KOH+ ácido norstíctico***



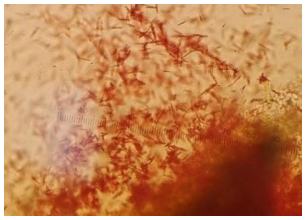
76 ***Espora***



77 ***Graphis schiffnerii***



78 ***Corte de lirella***



79 ***KOH+ ácido norstíctico***



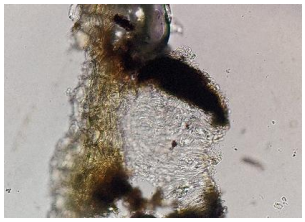
80 ***Espora***



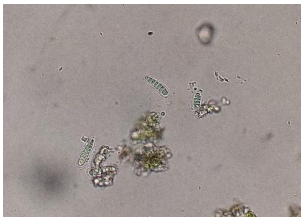
81 ***Graphis scripta***



82 ***Corte de lirella***



83 ***KOH-***



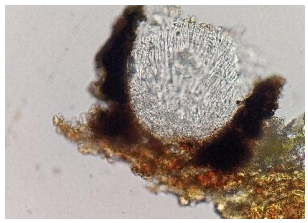
84 ***Espora***



85 ***Graphis subdiserpens***



86 ***Corte de lirella***



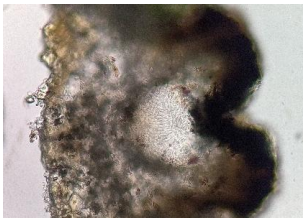
87 ***KOH-***



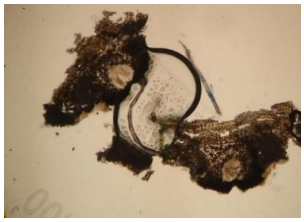
88 ***Espora***



89 ***Graphis Symplecta***



90 ***Corte de lirella***



91 ***KOH-***



92 ***Espora***

6. Discusión de resultados

6.1 Diversidad de líquenes cortícolas del género *Graphis* presentes en el área de estudio

6.1.1 Diversidad de especies en la zona de estudio:

Se corrobora al ecosistema Bosque Seco Tropical (BST), del Municipio de Girardot (Cundinamarca), como un ecosistema de alto impacto ambiental, con capacidad de ser reservorio de biodiversidad liquénica aún no documentada.

La alta diversidad encontrada en Girardot concuerda con lo reportado en otros estudios realizados en bosques secos tropicales de Colombia y países vecinos (Álvarez *et al*. 2023, Benítez *et al*. 2019, Feria *et al*. 2019, García *et al*. 2020, Gutiérrez *et al*. 2019, Lücking *et al*. 2019, Rincón. 2011, Soto *et al*. 2020, Soto *et al*. 2023). La familia *Graphidaceae* y el género *Graphis* en particular, son grupos taxonómicos bien representados en estos ecosistemas, a menudo asociados a ambientes perturbados (Bárcenbas *et al*. 2015, Lücking *et al*. 2011). La presencia de un número significativo de especies nuevas para el municipio, el departamento y el país sugiere que los bosques secos de Girardot albergan comunidades liquénicas únicas y poco estudiadas. Estos nuevos registros enriquecen el conocimiento sobre la biodiversidad liquénica colombiana.

6.1.2 Descripción de especies nuevas:

El descubrimiento de tres nuevas especies para la ciencia pertenecientes al género *Graphis* (*Graphis sp. 1*, *Graphis sp. 2* y *Graphis sp. 3)*, presentan características morfológicas distintivas que pueden sugerir adaptaciones diferentes a microhábitats.

Graphis sp. 1, estrechamente relacionada con *Allographa pauciloculata* (Coppins & James 1978; Aptroot *et al*. 2023), exhibe una preferencia por microhábitats con alta exposición solar y baja humedad, sugiriendo adaptaciones a condiciones xéricas. La formación de ascomas en parches estelarmente ramificados y las esporas ascosporas muy pequeñas son características compartidas con *A. pauciloculata*. Sin embargo, diferencias en la morfología de las esporas y las lirellas sugieren que se trata de especies distintas. *Graphis sp. 2* se caracteriza por su talo continuo y distintamente verrucoso, y sus ascomas lirellados cortos y dispersos. *Graphis sp. 3* se diferencia de especies similares como *Graphis caesiella* (Bungartz *et al*. 2010; Kalb *et al*. 2018) por características como el tamaño de las esporas, la presencia de pruina en los labios y el grosor de la carbonización del excípulo. Su distribución puede estar asociada a zonas expuestas.

6.2 Comparación de la diversidad encontrada en la zona de estudiada con respecto a otros bosques secos tropicales de Colombia

La diversidad de la liquenobiota en los BST de Colombia presenta un panorama heterogéneo y poco explorado. A pesar de la importancia ecológica de estos ecosistemas, la información disponible sobre la diversidad liquénica es escasa y se concentra principalmente en algunas regiones del país, así, el Valle del río Cauca destaca por contar con un número considerable de investigaciones, como las realizadas por Soto-Medina *et al*. (2020, 2023, 2017), Medina *et al*. (2021), Díaz. (2015) y Rodríguez. (2022). Por el contrario, regiones como el Alto y Medio Valle del Magdalena, a pesar de su importancia ecológica, carecen casi por completo de estudios

dedicados a los líquenes del BST. Esta falta de información limita nuestra comprensión de la diversidad liquénica en estas áreas y dificulta la realización de comparaciones a nivel nacional.

En las zonas de Santander y Norte de Santander, estudios como los de Castro-Moreno. (2019), Benavides. (2004) y Juan. (2023) han comenzado a explorar la diversidad liquénica, revelando una riqueza específica, así como algunos patrones de distribución. En la Costa Caribe, investigaciones como las de García. (2019), Avendaño *et al*. (2009), Rincón Espitia. (2011), Feria. (2019) y Ramírez-Roncallo (2018) han contribuido al conocimiento sobre la diversidad de líquenes en los bosques costeros. La Orinoquía, aunque menos estudiada, ha sido objeto de algunos trabajos como los de Lücking *et al*. (2023), Álvaro *et al*. (2011), Vargas *et al*. (2015) y Peláez *et al*. (2013), que han explorado la diversidad de líquenes en los bosques caducifolios y en el piedemonte llanero, así como las especies presentes en estos ecosistemas. La variabilidad en la riqueza de especies entre las diferentes regiones sugiere que factores ambientales, históricos y geográficos (Etter *et al*. 2017) influyen en la composición y distribución de las comunidades liquénicas. Sin embargo, la falta de estudios y la escasez de datos dificultan la identificación y la comparación entre regiones.

El análisis del índice de Sørensen, en conjunto con las características ecológicas de estas regiones, revela un panorama complejo y heterogéneo en cuanto a la composición de especies de *Graphis* y *Allographa* en los diferentes bosques secos tropicales (BST) de Colombia.

Al comparar el BST Costa Caribe con el Valle del Magdalena, el índice de Sørensen arroja un valor de 0.44, lo que indica una similitud moderada. Esta relación, como sugieren Pizano *et al*. (2014), podría estar influenciada por la distancia geográfica y las diferentes presiones antrópicas que han experimentado ambas regiones. El Valle del Magdalena, con una mayor presión por la expansión agrícola y ganadera (López *et al*. 2019), presenta una menor similitud en comparación con el Caribe, donde los relictos de bosque, como el Parque Nacional Natural Tayrona, se encuentran en mejor estado de conservación. Comparaciones de similitud entre el BST Orinoquía tanto el Valle del Magdalena (índice de Sørensen = 0.38) como Santander y Norte de Santander (índice de Sørensen = 0.33) puede relacionarse con las condiciones climáticas (Orinoquía: 2500-4500 mm anuales, Valle del Magdalena: 900- 2500 mm anuales, Santanderes y Norte de Santander 600-3100 mm anuales) (IDEAM. 2025) y de composición y estructura de sus suelos (poca retención de agua, suelos con capa de arenas, arcillas o rocas que no permiten el flujo del agua entre la superficie y los acuíferos), lo que pudiese suceder en la comparación entre el BST de la Costa Caribe con Santander y Norte de Santander donde su similitud es de 0.31 (Pizano *et al*. (2014), Etter *et al*. (2017)). El BST de la Orinoquía, por sus características, alberga una comunidad de líquenes capaz de sobrevivir a condiciones extremas. Por otro lado, las regiones de Santander y Norte de Santander, aunque influenciadas por los Andes, presentan una mayor altitud y precipitación promedio, lo que traduce en la presencia de un número variado de comunidades liquénicas.

Aunque Santander y Norte de Santander presenten una similitud moderada (índice de Sørensen = 0.33) con el Valle del Magdalena, puede estar relacionando la influencia de los Andes en ambas regiones (Melo *et al*. 2019). Aunque sus comunidades liquénicas puedan estar reflejando una variación influenciada por la altitud y precipitación en la región de Santander y Norte de Santander (López *et al*. 2019).

La baja similitud entre el BST Orinoquía y el Valle del Cauca (índice de Sørensen = 0.29), y entre el Valle del Cauca y el Valle del Magdalena (índice de Sørensen = 0.28), tiene sus diferencias en la historia geológica y las presiones antrópicas, que también sucede entre el BST de la Costa Caribe y el Valle del Cauca que presentan un índice de Sørensen = 0.25 (Etter *et al*. 2017). El Valle del Cauca, a pesar de su alta diversidad de especies, presenta una alta fragmentación y degradación del hábitat, lo que ha reducido la similitud con otras regiones. Pizano *et al*. (2014) reportan que la cobertura original del BST en el Valle del Cauca ha desaparecido en un 94%, lo que ha afectado significativamente la composición de especies. Finalmente, la ausencia total de similitud con el BST del Valle del Patía se debe a razones como la casi completa desaparición de este ecosistema y la falta de datos de esta región.

6.2.1 Índices de Biodiversidad Alfa y Beta para Girardot:

Estos índices de biodiversidad en conjunto evidencian una comunidad de *Graphis* diversa en número de especies para el municipio de Girardot, pero con la dominancia de unas pocas. Las localidades de estudio se muestran heterogéneas lo que sugiere variaciones microambientales importantes que influyen en la distribución de las especies. Lo que se encuentra en coherencia con la dinámica ecológica de los bosques secos tropicales, de allí la importancia de considerar múltiples índices y escalas espaciales para comprender la complejidad de la biodiversidad.

Esta dinámica compleja de la diversidad de *Graphis* para Girardot se muestra de la siguiente manera. El índice de Shannon (H′=2.6438) sugiere una diversidad moderada a alta, con distribuciones relativamente equitativas entre las especies presentes. Esta interpretación concuerda con la idea de que una mayor diversidad confiere mayor resiliencia a las perturbaciones del ecosistema (Moreno. 2000). Sin embargo, una perspectiva diferente es la que nos brinda el índice de Simpson (D=8.4424) ya que nos permite comprender que algunas especies son las dominantes dentro de la comunidad, lo que para este estudio son las especies *Graphis pinicola* (45 individuos) y *Graphis renschiana* (10 individuos).

Esta aparente contradicción entre los índices de Shannon y Simpson se explica por la diferente sensibilidad matemática de cada uno. Como señalan Chao *et al*. (2014), el índice de Shannon es más sensible a la riqueza de especies, mientras que el índice de Simpson refleja la dominancia relativa. La consideración conjunta de ambos índices proporciona una comprensión más completa de la estructura de la comunidad. En este caso, la alta riqueza de especies (reflejada en el índice de Shannon) coexiste con la dominancia de unas pocas especies (reflejada en el índice de Simpson). La pregunta que surge entonces, como se menciona en el texto, es sobre las condiciones ambientales que podrían estar favoreciendo el crecimiento dominante de *Graphis pinicola* y *Graphis renschiana*. Esta alta diversidad también la vienen a corroborar los índices de Margalef (5.4898) y Menhinick (2.6675), lo que nos invita a pensar en Girardot como un lugar que tiene una alta capacidad de albergar especies aún en el estado actual. Estos resultados son particularmente relevantes en el contexto de ecosistemas especializados como los BST (Chao & Jost, 2012), donde las condiciones ambientales pueden ser limitantes para muchas especies. Pueden estar sucediendo adaptaciones específicas a las condiciones del BST en Girardot, o así puede estar hablando la coexistencia de una alta diversidad con la dominancia de ciertas especies.

Su heterogeneidad habla de los diferentes estados en que es posible encontrar el BST en Girardot. Así, bajas similitudes y afinidades entre los transectos, como el 18.2% de similitud y 10% de afinidad entre Tr1 y Tr2, y el 13.3% de similitud y 10.5% de afinidad entre Tr1 y Tr3, sugieren variaciones ambientales y de composición significativas entre las áreas muestreadas. Estos

resultados concuerdan con estudios previos que han observado patrones similares de diversidad en hábitats que se diferencian entre sí, especialmente en bosques secos tropicales, donde las condiciones ambientales pueden cambiar rápidamente a escalas espaciales pequeñas (Lücking *et al*. 2017; Rodríguez *et al*. 2020).

6.2.2 Curva de acumulación de especies y Rarefacción:

Las curvas analizadas que nos permitieron conocer la suficiencia del muestreo en los tres transectos (Tr1, Tr2 y Tr3) revelan una variabilidad importante en la representatividad del muestreo entre los transectos, lo cual influye directamente en la estimación de la diversidad.

Asi, en la curva de rarefacción individual evidencia cómo el Tr2 se aproxima a una asíntota, lo que representa una captura relativamente completa de la diversidad presente en ese transecto. Los Tr1 y Tr3 muestran curvas que continúan ascendiendo, indicativo de una clara insuficiencia del muestreo, sin embargo, en Tr3 se puede llegar a encontrar otras especies con un mayor esfuerzo de muestreo.

La curva de Cobertura Muestral determina cómo a pesar de que el Tr3 alcanzara una cobertura superior al 80%, aún no captura la totalidad de la diversidad estimada. Esto implica que, aunque se haya muestreado una proporción considerable de individuos, la curva de rarefacción de Tr3 sigue ascendiendo. Se puede afirmar, entonces; que especies raras o de baja abundancia no fueron detectadas durante el muestreo. Por otro lado, Tr2 presenta la menor cobertura muestral (menos del 30%), lo cual concuerda con su curva de rarefacción, que muestra una clara tendencia ascendente. Esto sugiere que el muestreo en Tr2 fue el menos representativo y que se requiere un esfuerzo de muestreo considerablemente mayor para caracterizar adecuadamente su diversidad. Tr1, con una cobertura cercana al 60%, se sitúa en un punto intermedio, lo que se refleja en su curva de rarefacción más cercana a la estabilización. La relación entre diversidad y cobertura muestral permite comprender lo que se estima desde una perspectiva en conjunto.

Los tres transectos muestran valores de cobertura superiores a 7 pero inferiores a 8. Este rango intermedio nos permite pensar en la posibilidad de presencia de especies menos comunes y una posible tendencia hacia la estabilización de la diversidad estimada. Sin embargo, la falta de una estabilización completa, especialmente en Tr3, puede indicar que la diversidad real podría ser mayor si se aumentara el esfuerzo de muestreo. Esto vendría a confirma las conclusiones previas: Tr1 y Tr2, más cercanos al límite superior del rango, muestran una mayor aproximación a la estabilización, mientras que Tr3, con una curva aún ascendente, confirma la necesidad de un mayor esfuerzo de muestreo.

Las limitaciones propias a la metodología de trabajo en campo (desarrollo de transectos lineales de 10 x 100 m) y, crucialmente, el acceso restringido a terrenos de fincas, han incidido directamente en la suficiencia del muestreo y, por ende, en la estimación de la diversidad. De esta manera se pudo haber limitado la exhaustividad de la búsqueda, pudiendo haberse limitado la detección de aquellas especies que no resultan abundantes o frecuentes. Algunas áreas excluidas, al encontrarse en terrenos privados, que pudieron resultar potencialmente representativas de la heterogeneidad ambiental de la zona, pueden estar generando una subestimación de la diversidad beta y alfa (BOLFOR *et al*. 2000).

6.2.3 nMDS y ANOSIM:

En estos resultados se identifica una diferenciación moderada a alta entre las comunidades evaluadas en las diferentes localidades de donde han sido reportadas. Los resultados hablan de los

factores que están influyendo en la constitución de las comunidades en las localidades evaluadas: luz, altitud, humedad, entre otros. El análisis estadístico respalda los resultados presentados y confirma la diferencia significativa que existe entre comunidades. La distancia *Bray-Curtis* nos permite evidenciar que los sitios evaluados son más diferentes que similares. Esto lleva a reafirmar la hipótesis de que, son las condiciones ambientales y de composición las que están influyendo en la composición de las comunidades de BST.

Estos resultados junto con los expresados por los índices de biodiversidad refieren la complejidad de los bosques secos tropicales, en donde se puede almacenar una diversidad considerable de especies, aunque dependiendo de los grados de alteración, puede existir dominancia de algunas. Estos patrones de resultados ya han sido reportados y se cree que factores como las perturbaciones ambientales, las fluctuaciones climáticas y las características del microhábitat pueden modular la composición de especies (Gutiérrez *et al*., 2019; Lücking *et al*., 2019). Estos resultados han permito construir una imagen de la composición y distribución de las especies de *Graphis* para el Municipio de Girardot, pudiendo incluso ser comparada con otros reportes para BST del país.

6.2.4 Análisis de agrupamiento (Clústers):

La heterogeneidad en la precipitación promedio anual entre los departamentos estudiados ha moldeado patrones distintivos en la composición de las comunidades de líquenes. Los resultados del análisis de agrupamiento revelan una clara asociación entre los regímenes de precipitación y la afinidad florística. Departamentos con mayores precipitaciones, como Putumayo y Amazonas, se agrupan de manera diferente a aquellos con condiciones más secas, como La Guajira y el Atlántico. Esta relación entre clima y composición de especies destaca la importancia de la humedad como factor determinante en la distribución y abundancia de *Graphis*.

La presencia de subgrupos dentro del gran grupo de departamentos con menor precipitación sugiere que otros factores, además de la precipitación, influyen en la composición de las comunidades de líquenes. Factores como la geología, la tipología de suelo, la historia de perturbación y la presencia de refugios climáticos podrían explicar las diferencias observadas entre estos departamentos. Por ejemplo, la alta similitud entre las comunidades de líquenes de Córdoba, La Guajira y Magdalena podría estar relacionada con la historia biogeográfica compartida de esta región, que ha favorecido la especiación y la dispersión de especies.

6.3 Evaluación de los posibles riesgos de pérdida de especies en el ecosistema del bosque seco tropical en el municipio de Girardot debido al cambio climático, utilizando como estudio de caso el género *Graphis*.

6.3.1 Modelado de la presencia del hábitat en función de variables climáticas:

Es notoria la influencia de ciertas variables climáticas obtenidas y modeladas de WorldClim (2024) (Bio04, Bio05, Bio14 y Bio15) en las proyecciones de idoneidad del hábitat para *Graphis*. En la idoneidad del hábitat, las proyecciones a futuro (2020-2040) sugieren un aumento en la idoneidad de ciertas áreas bajo escenarios de cambio climático, lo que, como se menciona en el texto, y apoyado por Kass *et al*. (2023), invita a reflexionar sobre la resiliencia del género. *Graphis* al tratarse de un género que presenta altos umbrales de tolerancia a la contaminación y perturbación de los ecosistemas (Cohn-Berger & Quezada., 2016), permite entender que, aunque se incremente sus áreas de hábitat; muchas de las especies menos tolerantes a los cambios climáticos no lo harán. Entonces períodos más largos de sequía y de menor precipitación pueden llegar a determinar la

riqueza no solo del BST, sino incluso de otros ecosistemas (Méndez. 2014). Este posible impacto negativo, aun con la aparente resiliencia del género, subraya la necesidad de considerar medidas de conservación. Siendo un llamado a considerar la toma de acciones que no solo mitiguen los efectos del cambio climático, sino que también promuevan la preservación de las especies clave para mantener la estructura y función ecológica de estos ecosistemas (Ballesteros *et al*. (2019), Herazo *et al*. (2017)). Las cordilleras Andinas también parecen influir en la distribución, actuando como corredores o barreras geográficas.

Algunas distribuciones específicas desarrollan preguntas sobre el modelamiento de las especies. *Graphis anfractuosa* es una especie que tiene reportes en las cordilleras Central y Occidental y en zonas secas del norte del país donde surge la pregunta por sus condiciones climáticas y de ubicación ¿podría explicarse la existencia de reportes para *G. anfractuosa* en las zonas secas del norte del país? La influencia de factores no modelados, como el desarrollo industrial nos invita a considerar como una observación parcial el que solo las variables climáticas sean tenidas en cuenta. En *Graphis caesiella* la idoneidad modelada en la Cordillera Central, posiblemente por la escasez de registros, y el aumento proyectado de idoneidad en enclaves a mayor altura dentro de las cordilleras son puntos clave de su análisis. *Graphis furcata* que presenta reportes en los Llanos, incluyéndose el nuevo reporte en Girardot, ¿Cómo está presente la especie de manera Cisandina y Trasandina? y ¿qué cambios significativos, a nivel de bosque seco, nos puede estar mostrando el modelo para la zona Norte de Colombia? Para *Graphis immersicans cuya* distribución disyunta plantea: ¿cómo es posible que, para esta especie, los únicos registros hechos, la reporte para zonas Cis y Trasandinas? y ¿qué podría significar que, eventualmente, la especie se reporte para zonas elevadas de la Cordillera?

Graphis librata con su baja idoneidad para zonas intermedias entre Antioquia y Valle del Cauca plantea: ¿Cómo podría variar esa zona intermedia, si estudios futuros reportaran esta especie para allí? Modelamientos como los de *Graphis lineola* que, por su distribución contrastante y la falta de reportes en los Llanos, genera la pregunta ¿Se podrá tratar de la misma especie? Casos como el de *Graphis modesta* con sus reportes cercanos a Sincelejo y Girardot, abren la pregunta por algún tipo de conectividad entre las mismas. Para especies más comunes fue posible modelar con mayor exactitud, *Graphis nanodes* muestra mayor movimiento a través de la Cordillera Central. Caso opuesto lo que sucedió para *Graphis pinicola*, donde los pocos registros dificultan la interpretación. Reportes en lugares geográficos complejos como para *Graphis scripta* donde los registros en hacia el Macizo y Los Llanos plantean la pregunta de si se le estará nombrando una misma especie o se le estará nombrando como *G. scripta* a una especie diferente.

Estos patrones de distribución complejos y diferenciados, influenciados por variables climáticas y, presumiblemente, por otros factores no considerados en el modelo, como el desarrollo industrial, limitan la posibilidad de análisis que se pueden hacer para estas especies. Esta limitación se observa en la dificultad para modelar varias especies (*G. bungartzii, G. deserpens, G. dichotoma, G. epigraphis sp. nov., G. girardotensis sp. nov., G. granulocarpa, G. immersella, G. jejuensis, G. leptoclada, G. maryae sp. nov., G. oxyclada, G. puiggari, G. renschiana, G. schiffneri, G. subdisserpens*) y en la incertidumbre asociada a las predicciones para especies con pocos registros, como *G. caesiella*, *G. immersicans*, *G. librata* y *G. pinicola*.

6.3.2 Guía rápida ilustradas tipo *Field Museum* para la determinación de especies del género *Graphis* para el Municipio de Girardot, Cundinamarca, Colombia (inédito):

Con los resultados de esta investigación se elaboró una guía de campo para las especies del género *Graphis* en el bosque seco de Girardot, Cundinamarca en la cual se presenta para cada especie, fotografías del organismo, el corte de sus lirellas, su reacción a las pruebas de determinación químicas (KOH, I, C, P) y la fotografía de sus esporas. Esto inmediatamente se convierte en una nueva herramienta valiosa (Suárez & Montealegre. 2024) para futuros estudios en la región. Esta guía puede llegar a complementar trabajados de identificación que usen claves dicotómicas, entre otros recursos taxonómicos para la identificación de líquenes., llegando a contribuir significativamente a la gestión y conservación de la biodiversidad local (Roa & Vargas. 2010), porque al publicarla va a formar parte de un material accesible para aquellos que deseen profundizar en el estudio de los líquenes cortícolas del bosque seco de Girardot, Cundinamarca.

7. Conclusiones

El BST de Girardot se ha evidenciado como un refugio para una diversidad significativa de especies de *Graphis*, incluyendo la presencia de algunos nuevos registros. Se recomienda priorizar la investigación en regiones con vacíos de información, para comprender mejor la diversidad liquénica local y de los BST a nivel nacional, generando estrategias de conservación más efectivas.

La distribución de las especies de *Graphis* en las áreas comparadas se encuentra ligada a factores ambientales como la precipitación. Se sugiere profundizar en el estudio de los nichos ecológicos de estas especies, en los que se podrían usar modelos de distribución de especies y análisis de nicho, para comprender mejor los factores que determinan su distribución y abundancia.

A pesar de su resiliencia, las comunidades de *Graphis* en Girardot se muestran sensibles a las variaciones de las condiciones climáticas. Es fundamental implementar medidas de conservación urgentes, como la restauración de ecosistemas degradados y la creación de áreas protegidas, para garantizar la persistencia de estas especies a largo plazo.

En un futuro las especies de *Graphis* del BST de Girardot pueden ser utilizadas como bioindicadores de la calidad ambiental del municipio. Lo que sugiere la posibilidad de establecer redes de monitoreo a largo plazo para evaluar la respuesta de estas comunidades a los cambios ambientales y utilizar esta información para informar las políticas de conservación.

La elaboración de guías de campo ilustradas y bases de datos en línea facilita la identificación de las especies de *Graphis* y promueve su estudio. Se recomienda desarrollar herramientas de identificación accesibles y fáciles de usar.

Para obtener una representación más completa de la diversidad liquénica en la región, se recomienda aumentar el tamaño de los transectos de muestreo. Los transectos lineales de 10 x 100 m utilizados en este estudio pueden haber subestimado la riqueza de especies. Se sugiere utilizar transectos de mayor longitud para garantizar una mayor representatividad de los diferentes microhábitats.

8. Referencias

Álvarez Herrera, A., Ordoñez Zapata, P., & Soto Medina, E. (2020). Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca. *Revista de Ciencias*, 24(2).

Álvaro Alba, Wilson & López, Dairon & Pinzón, Maribel. (2011). Musgos, líquenes y hepáticas en la Amazonía. *Revista Colombia Amazónica Nueva Época. 56-76.*

Aptroot, A., Weerakoon, G., Cannon, P., Coppins, B., Sanderson, N. & Simkin, J. (2023). Ostropales: Graphidaceae, including the genera *Allographa, Clandestinotrema, Crutarndina, Diploschistes, Fissurina, Graphis, Leucodecton, Phaeographis, Schizotrema, Thelotrema* and *Topeliopsis*. *Revisions of British and Irish Lichens* 36: 1-23.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA. (2015). Por la cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones "Concesión Alto Magdalena SAS". *Resolución 1685 de 25 dic 2015.*

Avendaño, K., & Aguirre, J. (2009). Estudio preliminar de los líquenes de la Serranía del Perijá. *Colombia Diversidad Biótica VIII: Media y baja montaña de la Serrania del Perijá, O. Rangel-Ch, Ed., ed Bogotá: Bogotá*, 223-228.

Ballesteros-Correa, J., Morelo-García, L., & Pérez-Torres, J. (2019). Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical en paisajes de ganadería extensiva bajo manejo silvopastoril y convencional en Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 41(1), 224-234.

Bárcenas-Peña, Alejandrina, Miranda-González, Ricardo, & Herrera-Campos, María de los Ángeles. (2015). Una especie nueva y peculiar de Graphis (Ascomycota: Ostropales: Graphidaceae) de la selva alta perennifolia de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 86(3), 559-564.

Benavides, J. (2004). Líquenes y briofitos del área metropolitana de Bucaramanga. *Universidad Industrial de Santander*, 53-103.

Benítez, Á., Aragón, G., & Prieto, M. (2019). Lichen diversity on tree trunks in tropical dry forests is highly influenced by host tree traits. *Biodiversity and Conservation*, 28(11), 2909-2929.

Bernal, Rodrigo & Gradstein, Marcela & Celis, Stephan & Pacheco, Marcela & Orozco, Clara. (2016). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia volumen I.

BOLFOR; Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia.

Castañeda Quimbayo, A. F. (2020). Análisis de la incidencia de los factores ambientales en la producción agrícola en el municipio de Girardot, Cundinamarca (Trabajo de Grado para optar el Título de Administradora Ambiental, Universidad Piloto de Colombia).

Castro-Moreno, C. (2019). *Línea base de especies en términos de su vocación de conservación y uso sostenible del departamento de Santander - Proyecto Santander BIO* (Conjunto de datos). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547.

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84(1), 45-67.

Cohn-Berger, G., & Quezada, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Revista Científica*, *26*(1), 20-39.

ColFungi (2024). "Useful Fungi of Colombia. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; https://colfungi.org/ Retrieved 21 December 2024."

Concejo Municipal de Girardot. (2014). Sistema de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM) Girardot 2014-2026. Concejo Municipal de Girardot. Recuperado de https://girardotcundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Sistema%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20Municipal%202016.pdf

Coppins, BJ., James, PW 1978: New or interesting British lichens II. - *Lichenologist* 10: 179-207.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2022, 13 de julio). Resolución DGEN No. 20227000296 por medio de la cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones. Dirección General. https://www.car.gov.co

Cubas, P., Núñez, J., Crespo, A., & Divakar, P. K. (2010). Líquenes: que son y su uso como bioindicadores. *GEMM/Proyecto de Innovación*, *123*(9).

De la Biodiversidad, P. D. I., de Exploraciones, G., & GEMA, M. A. 1998. El Bosque seco Tropical (Bs-T) en Colombia. Recuperado de https://media.utp.edu.co/ciebreg/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf.

Díaz Escandón, D. (2015). *Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre El Vinagre (Cauca)* (Trabajo de grado). Repositorio Institucional Universidad del Valle.

Etter A., Andrade A., Saavedra K., Amaya P. y P. Arévalo 2017. Estado de los Ecosistemas Colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas (Vers2.0). Informe Final. Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional-Colombia. Bogotá. 138 pp.

Feria, M.S.A. (2019). Composición y riqueza de líquenes cortícolas en tres fragmentos de bosque seco tropical, Sucre, Colombia. (Trabajo de Grado para optar al Título de Biólogo, Universidad de Sucre)

García, H. y R. González-M., R. (eds). 2019. Bosque seco Colombia: biodiversidad y gestión. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 32 p.

García, Hernando & González-M, Roy. (2019). Bosque Seco Colombia: Biodiversidad y Gestión.

García, M.S. (2019). Briófitos y líquenes: una contribución a la biota del bosque seco tropical, subregión montes de maría (Sucre Colombia). (Trabajo de grado para optar al título de Magister en Biología, Universidad de Sucre)

GBIF.org (02 January 2025) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.9tqsbv

GBIF.org (16 November 2024) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.82ncp6

GBIF.org (22 December 2024) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.k6jt5t

Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379–391.

Gradstein, S. R., Hietz, P., Lücking, R., Lücking, A., Sipman, H. J. M., Vester, H. F. M., ... & Gardette, E. (1996). How to sample the epiphytic diversity of tropical rain forests. *Ecotropica* 2: 59-72

Grube, M., Cernava, T., Soh, J., Fuchs, S., Aschenbrenner, I., Lassek, C., ... & Berg, G. (2015). Exploring functional contexts of symbiotic sustain within lichen-associated bacteria by comparative omics. *The ISME journal*, 9(2), 412-424

Gutiérrez, M. F. C., Medina, E. A. S., & Escandón, D. D. (2019). Especificidad de forófito en líquenes cortícolas en un gradiente de intervención en Guarinocito, Caldas. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 9(4), 1-12.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2023). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Version 4.17) [Software]. Natural History Museum, University of Oslo. Disponible en https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/

Hawksworth, D. L., & Grube, M. (2020). Lichens redefined as complex ecosystems. *The New Phytologist*, *227*(5), 1281.

Herazo Vitola, F., Mercado Gómez, J., & Mendoza Cifuentes, H. (2017). Estructura y composición florística del bosque seco tropical en los Montes de María (Sucre-Colombia). *Ciencia en Desarrollo*, 8(1), 71-82

Hilje, L. (1984). Simbiosis: consideraciones terminológicas y evolutivas. *Uniciencia*, *1*(1), 57-60.

Hodkinson, B. P., & Lutzoni, F. (2009). A microbiotic survey of lichen-associated bacteria reveals a new lineage from the Rhizobiales. *Symbiosis*, *49*, 163-180.

IDEAM. (2025). Datos de precipitación [Conjunto de datos]. Recuperado el 3 de enero de 2025, de http://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/

Index Fungorum (2024). *Index Fungorum: Names of Fungi and their associated information*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Recuperado de http://www.indexfungorum.org [Consultado el 21 de diciembre de 2024].

Juan, M. (2023). Lista tentativa de Ordenes, Familias, Géneros y Especies de hongos y líquenes en Barichara, Guane, y San Gil (Santander, Colombia). (Documentadas entre el 07 de Noviembre del 2022 y el 17 de Marzo del 2023). 10.13140/RG.2.2.35327.89766/1.

Kalb, J., Lücking, R., & Kalb, K. (2018). The lichen genera *Allographa* and *Graphis* (Ascomycota: Ostropales, Graphidaceae) in Thailand eleven new species, forty-seven new records and a key to all one hundred and fifteen species so far recorded for the country. *Phytotaxa*, 377(1), 1-83.

Kass, J. M., Pinilla-Buitrago, G. E., Paz, A., Johnson, B. A., Grisales-Betancur, V., Meenan, S. I., ... & Anderson, R. P. (2023). wallace 2: a shiny app for modeling species niches and distributions redesigned to facilitate expansion via module contributions. *Ecography*, 2023(3), e06547.

Le Pogam-Alluard, P. (2016). *Analyses de lichens par spectrométrie de masse: déréplication et histolocalisation* (Doctoral dissertation, Université de Rennes).

Leiva, D., Clavero-Leon, C., Caru, M., & Orlando, J. (2016). Intrinsic factors of Peltigera lichens influence the structure of the associated soil bacterial microbiota. *FEMS Microbiology ecology*, 92(11), fiw178.

Lindenmayer, D. B., Margules, C. R., & Botkin, D. B. (2000). Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation biology*, 14(4), 941-950.

López, P. (2011). Plan de Restauración del Bosque Seco Tropical de la Reserva Natural de la Sociedad Civil Sanguaré (Sucre, Colombia). Universidad de Antioquia.

López-Camacho, R & Rojas, J. (Editores). (2019). Bosque seco en el territorio CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR – Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., Colombia

López-Camacho, R. & Rojas, J. 2019. (Editores). El Bosque Seco en el Territorio CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR – Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D.C., Colombia

Lücking R, Moncada B, SotoMedina E. Actualización nomenclatural y taxonómica del Catálogo de Líquenes de Colombia. Rev. *Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat*. 45(174):147-189, enero-marzo de 2021.

Lücking, R., Álvaro-Alba, W. R., Moncada, B., Marín-Canchala, N. L., Tunjano, S. S., & Cárdenas-López, D. (2023). Lichens from the Colombian Amazon: 666 taxa including 28 new species and 157 new country records document an extraordinary diversity. *The Bryologist*, *126*(2), 242-303.

Lücking, R., E. Rivas Plata, J. Chaves, L. Umaña & H. J. M. Sipman. 2009. How many tropical lichens are there... really? *Bibliotheca Lichenologica* 100: 399-418.

Lücking, R., Moncada, B., Martínez-Habibe, M. C., Salgado-Negret, B. E., Celis, M., Rojas-Zamora, O., ... & Borsch, T. (2019). Lichen diversity in colombian caribbean dry forest remnants. *Caldasia*, *41*(1), 194-214

Lücking, R., Plata, E. R., Parnmen, S., Kalb, K., Mangold, A., & Lumbsch, T. (2011). Graphidaceae Lichens of the World. Tropical Lichen Guides, 355, Field Museum Chicago.

Lücking, Robert & Archer, Alan & Aptroot, Andre. (2009*). A world-wide key to the genus Graphis (Ostropales: Graphidaceae)*. *The Lichenologist*.

Mateus Vargas, L. N. (2011). Composición y riqueza de los líquenes folícolas de la estación ambiental de tutunendo (Chocó biogeográfico). (Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia)

Medina, E. S., Díaz, D., & Montaño, J. (2021). Biogeografía y riqueza de los líquenes de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

Medina, E. S., Lücking, R., Torres, A. M., Moncada, B., Aptroot, A., Montaño, J., & Díaz-Escandón, D. (2021). *Líquenes cortícolas en el Chocó biogeográfico del departamento del Valle del Cauca* (1st ed.). Universidad del Valle.

Melo, O, Fernández-M, Roa-R & Quiroga-C .(2019). Estructura de fragmentos de bosque seco tropical en el sur del departamento del Tolima, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, *23*(1), 31-51.

Méndez Estrada, V. H. (2014). Variación en el porcentaje de cobertura de líquenes durante las épocas seca y lluviosa en árboles de las provincias de San José, Alajuela y Cartago, Costa Rica. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A; 9*.

Ministerio de ambiente (Minambiente). (2021). PROGRAMA NACIONAL PARA LA CONSERVACION Y RESTAURACION DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN COLOMBIA-PNCBST PLAN DE ACCION 2020-2030. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/ZonasSecas/PROGRAMA_BOSQUE_SECO_TROPICAL_EN_COLOMBIA.pdf

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Motta M., K. A., & Amórtegui G. K. J. Contribución al género *Graphis* (Graphidaceae) en Colombia, con base en las colecciones del Herbario Forestal Gilberto Emilio Mahecha Vega (UDBC) sección criptógamas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., ... & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, *51*(11), 933-938.

Ospina A.,O.L.(Ed.), (2021). Programa nacional para la conservación y restauración del bosque seco tropical en Colombia. Plan de Acción 2020-2030 / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Instituto de Investigación Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Peláez, R, Moncada, B & Lücking, R. (2013). Líquenes de Morichales de San Martín, Meta, Colombia. Tropical Lichen Guides, 551, Field Museum Chicago.

Perdomo Moncaleano, D. L. (2001). Informe de práctica seis meses UMATA-Girardot. Transferencia técnico administrativa para la implementación de sistemas agroforestales a pequeños productores del municipio de Girardot en cultivo Neem-Frutales (mango).

Pérez, J. F. G., Pava, D. B., & García, G. M. (2020). Propuesta metodológica de interés paisajístico con potencial ecoturístico.: Provincia del Alto Magdalena, Colombia. *Utopía y praxis latinoamericana: Revista Internacional de Filosofía Iberoamericana y Teoría Social*, (11), 111-123.

Pizano, C y H. García (editores). 2014. El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá,D,C., Colombia.

Pizano, C., González-M, R., López, R., Jurado, R. D., Cuadros, H., Castaño-Naranjos, A., ... & García, H. (2015). El bosque seco tropical en Colombia: distribución y estado de conservación. *Biodiversidad*, 150.

Ramírez-Roncallo, Kevin. (2018). Líquenes de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia (Trabajo de grado).

Rincón Espitia, A. J. (2011). Composición de la flora de líquenes corticícolas en el Caribe colombiano (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia).

Rincón-Murillo, D., Simijaca, D., Esquivel, H., Lücking, R., & Moncada, B. (2024). Diversidad y preferencias de forófito de los líquenes en el bosque de niebla del volcán Cerro Machín, Tolima, Colombia. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, *48*(189), 831–851.

Roa, P. A., & Vargas, C. (2010). El cuaderno de campo como estrategia de enseñanza en el departamento de biologia de la UPN. *Revista Electrónica EDUCyT*, *2*, 114-125.

Rodríguez Martínez, M. T. (2022). *Clasificación de biotipos de líquenes cortícolas en un bosque subandino municipio de Popayán (Cauca)* (Trabajo de grado). Repositorio Institucional Universidad de Manizales. Recuperado de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6037

Roncallo, K., Morales, C., Ospino, J.D., Jiménez, J.A., & Negritto, M. (2017). Líquenes: cuando la unión hace la fuerza. *Infoflora, boletín de botánica* Vol. 2, ISSN: 2539-1690.

Sánchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J., Espírito-Santo, M. D., Fernandes, G. W., Powers, J. S., & Quesada, M. (2013). Tropical dry forests in the americas: the tropi-dry endeavor. *Tropical dry forests in the Americas: Ecology, conservation and management*, 1-16.

Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodríguez, J. P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., ... & Cuevas-Reyes, P. (2005). Research priorities for Neotropical dry forests 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(4), 477-485.

Smith, G. F., & Figueiredo, E. (2014). *The Global Plants Initiative: Where it all Started*. *Taxon*, *63*(3), 707–709. http://www.jstor.org/stable/taxon.63.3.707

Soto Medina, E., Diaz, D., & Montaño, J. (2021). Biogeografía y riqueza de los líquenes de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *45*(174), 122-135.

Soto-Medina, E. A., Lücking, R., & Torres, A. M. (2017). Nuevos registros de líquenes (Familia Graphidaceae) para Colombia. *Biota Colombiana*, *18*(2), 30-42.

Soto-Medina, E., Escandón, D. D., & Lozano, J. D. (2020). Catálogo de líquenes de la Ciudad de Cali-Colombia. Revista de Ciencias, 24(1).

Soto-Medina, E., Escandón, D. D., & Trochez, A. Z. (2023). Lista de especies de líquenes del Valle del Cauca (Colombia): Líquenes del Valle del Cauca. Revista de Ciencias, 26(1), 12416-12416.

Suárez Conde, L. A., & Montealegre Giraldo, J. F. (2024). Guía de campo como estrategia pedagógica para reconocer avifauna y generar identidad de territorio en Algeciras Huila: Field guide to recognize birdlife and generate territorial identity in Algeciras Huila. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, *5*(4), 648 – 660.

Vargas, L.M, Lücking, R & Moncada, B. (2015). Líquenes de los géneros *Cora* y *Dictyonema* del Casanare-Colombia. Tropical Lichen Guides, 588, Field Museum Chicago.

WorldClim. (n.d.). WorldClim version 2: Bioclimatic variables. Retrieved November 2024, from https://www.worldclim.org/data/bioclim.html