

Clasificación de biotipos de líquenes cortícolas en un bosque Subandino municipio de Popayán (Cauca)

Autor: María Teresa Rodríguez Martínez.

Ecóloga, Maestrante en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales. Esta investigación se desarrolla con el apoyo del Colegio Nacional de Ecólogos COLNADE.

Dirección de Correspondencia: María Teresa Rodríguez Martínez. Cra 6 E #27CN-15 Barrio Palacé, Popayán, Cauca. Teléfono: 3002323128. Correo electrónico: mtrm07@yahoo.com

Resumen

Los líquenes u hongos liquenizados son un grupo de organismos ampliamente distribuidos pero al mismo tiempo, poco conocidos por el público general, y poco estudiados con respecto a otros grupos como las plantas vasculares, debido a la dificultad que supone su clasificación taxonómica. Una solución a este escollo es el trabajo con biotipos de líquenes, cuya identificación es más sencilla, al enfocarse en características fácilmente identificables por el investigador. Teniendo en cuenta lo anterior, se implementó un transecto de 2.000 m² para el estudio de biotipos de líquenes en un bosque subandino de roble (*Quercus humboldtii*) en el municipio de Popayán (Colombia) a 1.888 msnm, en tres alturas sobre el tronco de 16 forófitos seleccionados. Se realizó la caracterización taxonómica y de biotipos teniendo en cuenta caracteres como el color, tipo de fotobionte, y reacción a pruebas químicas (KCl, KOH y Cl). Como resultado preliminar, de un total de 300 muestras se han identificado 45 biotipos, cuyos géneros más abundantes son: *Herpothallon* (49 individuos), *Lecanactis* (22), *Parmotrema* (13), *Pyrenula* (11), *Heterodermia* (11), *Cladonia* (11) y *Ocellularia* (10), entre otros. Se elaboró una tabla descriptiva y una guía rápida para la identificación de biotipos de líquenes de un bosque de *Q. humboldtii*, productos que apoyarán el desarrollo de futuras investigaciones sobre hongos liquenizados en este tipo de ecosistema, amenazado (VU) por la tala indiscriminada de sus individuos sobre el territorio nacional, así como para los actos administrativos de compensación determinados por las autoridades ambientales cuando estos bosques sean intervenidos, como un procedimiento fundamental para el desarrollo sostenible de los territorios.

Palabras clave: hongos liquenizados, biotipos, roble, corteza, forófito.

Abstract

Lichens or lichenized fungi are a group of widely distributed organisms but, at the same time, little known by the general public, and little studied with respect to other groups such as vascular plants. This is mainly due to the difficulty of its taxonomic classification, which requires a rather long learning curve. A solution to this problem is the work with biotypes of lichens, whose identification is easier, by focusing on characteristics easily identifiable by the researcher. Taking into account the above, a 2,000 m² transect was implemented for the study of lichen biotypes in a sub-Andean oak forest (*Quercus humboldtii*) at 1,888 masl, in the municipality of Popayán (Colombia), at three heights on the trunk of 16 phorophytes. The taxonomic and biotype characterization was carried out taking into account characters such as color, type of photobiont, and reaction to chemical tests (KCl, KOH and Cl). As a

preliminary result, from a total of 300 samples, 45 biotypes have been identified, whose most abundant genera are: *Herpothallon* (49 individuals), *Lecanactis* (22), *Parmotrema* (13), *Pyrenula* (11), *Heterodermia* (11), *Cladonia* (11) and *Ocellularia* (10), among others. A descriptive table and a quick guide for the identification of biotypes of lichens from a *Q. humboldtii* forest were prepared, products that will support the development of future research on lichenized fungi in this type of ecosystem, threatened (VU) by the indiscriminate felling of their individuals over the national territory, as well as for the administrative acts of compensation determined by the environmental authorities when these forests are intervened, as a fundamental procedure for the sustainable development of the territories.

Key words: lichenized fungi, biotypes, oak, bark, phorophyte

Introducción

Los líquenes son asociaciones simbióticas entre un alga (fotobionte) y un hongo (micobionte) de cuya interacción se origina un talo estable, con características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas específicas. Las algas que intervienen en la asociación pueden ser clorofitas o Cianobacterias y los hongos que intervienen son Ascomycetes, Basidiomycetes o Phicomycetes. (Chaparro y Aguirre, 2002). Según estos autores, los líquenes son organismos que poseen una gran variedad de estrategias simbióticas como el comensalismo, parasitismo y mutualismo. Pueden clasificarse según su morfología de acuerdo con el tipo de talo (forma de crecimiento o biotipo), tipos de estrategias reproductivas (sexual, asexual), o tipo de sustrato (Purvis 2000; Chaparro y Aguirre, 2002). Si bien los líquenes son un grupo poco vistoso y conocido tanto en las academias como en la cultura y la sociedad, es un grupo bastante diverso y distribuido en todo el planeta Tierra, que se desarrolla en una multiplicidad de sustratos y superficies, en un amplio rango de gradientes latitudinales, altitudinales, de temperatura y humedad (Purvis, 2000).

Uno de los aspectos más importantes para alcanzar la sostenibilidad ambiental en los procesos de desarrollo es el conocimiento de la diversidad biológica de los territorios, como línea de base para la toma de decisiones y para la prospección de bienes y servicios ambientales de los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas; lo anterior incluye, como primera medida, la realización de inventarios en los diferentes grupos biológicos. Responder a la pregunta ¿Qué especies hay? En este sentido, las investigaciones de base sobre los hongos liquenizados integran el desarrollo de herramientas que involucran un grupo poco trabajado (comparativamente con otros grupos de la Flora), pero que guardan un gran potencial de conocimiento y de uso de los recursos, en diversos campos, no sólo en la investigación científica, donde es considerado un grupo de importancia (Grace y Hayward 1978), sino también por su capacidad de evaluación de la acumulación de efectos ambientales sobre sus poblaciones, lo cual los postula como excelentes bioindicadores de perturbaciones ambientales (Purvis, 2000; Conti y Secchetti, 2001), sus cualidades alimenticias o medicinales, entre otras. De igual forma, en la legislación colombiana los líquenes son un factor importante en la implementación y evaluación de los procesos de restauración y rehabilitación ecológica, así como en las compensaciones del componente biótico que se realizan por objeto de aprovechamiento forestal único, en el territorio nacional.

En el estudio de las comunidades líquénicas, uno de los escollos más importantes que los investigadores deben salvar para realizar sus estudios, es el tratamiento taxonómico de las

muestras, que generalmente exige su identificación hasta el nivel de especie lo cual, además de presentar una alta complejidad que requiere de conocimientos específicos y la ayuda de especialistas, también hace que los tiempos de las investigaciones sean más prolongados. Varios investigadores, sin embargo, han desarrollado métodos que facilitan el trabajo con comunidades líquénicas, como es el caso de los biotipos de líquenes, que combinan la posibilidad de usar el nivel taxonómico de género, acompañado de ciertas características morfológicas propias de los taxa muestreados (crecimiento del talo, color, tipo de fotobionte, reproducción) (Ramírez *et al.* 2016; Simijaca *et al.*, 2018).

Existen experiencias de investigaciones con líquenes en la ciudad de Popayán (Cantor y Urbano 2002; Chilito y Soto 2019), pero no se han ejecutado estudios específicos sobre biotipos de líquenes, no se han estandarizado sus métodos y no hay pautas para el seguimiento de estos. Con base en esta situación, el propósito de esta investigación es la clasificación de biotipos de líquenes cortícolas en un fragmento conservado de bosque de roble (*Q. humboldtii*), en la vereda Clarete, municipio de Popayán, departamento del Cauca, a través de un análisis de su diversidad y composición, y la elaboración de un documento base que sirva como información de línea base para futuros investigadores que deseen trabajar este grupo de organismos en estudios ecológicos.

Marco teórico

Los bosques de roble (*Q. humboldtii*) que es el forófito seleccionado tenemos que, florísticamente hablando, uno de los aspectos más distintivos de los Andes colombianos, comparados con zonas más sureñas del rango andino, es la ocupación de elementos laurásianos que no alcanzan el Sur. El más sorprendente de estos casos es lo que ocurre con el único roble suramericano, *Quercus humboldtii*, el cual alcanza el aeropuerto de Pasto en el departamento de Nariño pero no cruza la frontera del Ecuador. A pesar de sus limitaciones geográficas, *Quercus* es ecológicamente dominante en muchos bosques Colombianos en especial en las vertientes más secas donde los fenómenos de bosques de niebla son menos extremos (Gentry 1993). Para el momento en que Gentry escribió este documento aún no se tenía registrado el *Trigonobalanus excelsa*, o “roble negro”.

A pesar de que el *Quercus humboldtii* es una especie de amplia distribución, muy abundante y conforma grandes rodales conocidos como robledales, la mayoría de Corporaciones Autónomas Regionales del país la reportan como una especie con un grado avanzado de amenaza debido a la extracción maderera. De acuerdo con las corporaciones casi el 42% de sus poblaciones han sufrido una intensa disminución, por lo cual el roble se encuentra en la categoría de Vulnerable (VU A2cd). Existen poblaciones naturales en los parques nacionales como Chingaza, Cueva de los Guácharos, Farallones de Cali, Las Orquídeas, Munchique, y en los santuarios de flora y fauna Iguaque Guanenta Alto Rio Fonce (Cárdenas y Salinas 2007). Como dicen Cárdenas & Salinas (2007), algunas entidades territoriales como las CAR, han desarrollado actividades específicamente dirigidas a la conservación de roble en Colombia, involucrando una amplia participación de las comunidades locales. De igual forma, se han expedido medidas de protección, como la Resolución 0316 de 1974 del INDERENA o la Resolución 096 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, sobre vedas en el territorio nacional a la tala de esta especie. Por otra parte, Andrade (1993) afirma que los bosques de los Andes colombianos tienen una gran

importancia ecológica gracias a los factores ambientales como la precipitación, luminosidad, esto brinda que se genere una heterogeneidad en el paisaje beneficiando a las diferentes especies. Estos no son los únicos servicios que brindan estos ecosistemas ya que ofrecen “la captación del agua, el mantenimiento del suelo, fijación del CO₂ además de contener innumerables especies con valor real o potencial” (Meli, 2015).

En Colombia se han identificado siete (7) asociaciones fitosociológicas que incluyen al roble (*Q. humboldtii*) como especie dominante (Rangel *et al.* 1997), ninguna de ellas ubicada en territorio del altiplano de Popayán, pero que han sido denominadas de manera genérica como *Quercetum*, y que presenta características generales como la “profusión de epífitas y parásitas al igual que líquenes y musgos terrestres y epifíticos”, con abundante hojarasca en el suelo, y especies arbóreas y subarbóreas como acompañantes. Ahora bien, los líquenes son considerados como grupo de importancia en la investigación científica, entre otras características por su lento crecimiento (Grace y Hayward 1978), que permite evaluar la acumulación de efectos ambientales sobre sus poblaciones, lo cual los postula como excelentes bioindicadores de perturbaciones ambientales (Purvis, W. 2000; Conti y Secchetti 2001; Nimis y Purvis 2002; Ramírez *et al.* 2016; Nash 2008).

Ahora bien, de acuerdo con la normatividad colombiana, los líquenes son uno de los componentes del ecosistema que son utilizados como criterio para la implementación de compensaciones, en aquellos casos de intervención y aprovechamiento sobre el recurso forestal de la nación, como lo ordena la Resolución 0256 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que adopta el Manual de Compensaciones del Componente Biótico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018), y en los criterios de acción mencionados en el Plan Nacional de Restauración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En estos documentos se regulan las actividades de compensación y restauración ecológica sobre el territorio nacional, específicamente el Manual de Compensaciones norma sobre las áreas que se deben destinar por objeto de compensación, e incluye como criterio la inclusión de los *Musgos*, *Hepáticas* y *Líquenes*, como categoría de evaluación y objeto de compensación de las intervenciones realizadas, que obligan al establecimiento de áreas donde se ejecuten acciones de restauración ecológica, que permitan la formación de comunidades liquénicas (y de otros grupos de la flora) como una forma de compensar las actividades extractivas necesarias para la realización de obras civiles.

A la luz de la importancia de los líquenes en la ecología y en la normatividad colombiana, muchas veces los trabajos que incluyen a este grupo de organismos carecen de precisión en el reconocimiento taxonómico, debido a las dificultades y los pormenores técnicos y científicos de su identificación. El uso de biotipos de líquenes para hacer más ágil el trabajo taxonómico y el reconocimiento de los especímenes en el campo, es un área de investigación de reciente desarrollo en Colombia, con muy escasos ejemplos, entre los cuales se destaca el de Ramírez *et al.* (2016), quienes han servido de inspiración para este trabajo, con un ejercicio similar en el cual comparó dos bosques de encenillo (*Weinmania tomentosa*) en diferente estado de perturbación, encontrando 54 especies, que dieron lugar a la clasificación de 37 biotipos fácilmente reconocibles, organizados en una clave dicotómica para su identificación en campo, tras de lo cual concluyen que “un protocolo usando biotipos en vez de especies puede ser implementado por personas no especialistas para hacer monitoreo y evaluaciones rápidas del estado de conservación de bosques altoandinos”.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de esta investigación se inició con el proceso de selección del área de estudio, pues –dada la extrema sensibilidad de este grupo a las perturbaciones ambientales– para el estudio de los líquenes se “requiere que los sitios de muestreo sean, en cuanto a su hábitat, lo más uniforme posible con el objeto de que la varianza poblacional y de la comunidad sea mínima para factores diferentes de la calidad del aire” (García y Rubiano, 1984) y de otros factores, en un ejercicio denominado “homologación de los puntos de muestreo” (Rubiano, 1989). Para seleccionar el área específica de estudio, se visitaron varios bosques de roble del municipio de Popayán que tuvieran condiciones ideales (Rivas *et al.*, 2008), los cuales han sido utilizados en el contexto colombiano.

Se seleccionaron los bosques de la vereda Clarete, que corresponden a uno de los parches o relictos de roble más grandes que aún subsisten en el municipio, los cuales han sido especialmente intervenidos durante generaciones para la sustracción de productos forestales maderables y no maderables. De acuerdo con Bravo & López (2008), el área total ocupada por el bosque de Clarete es de 103,17 Ha, en las cuales se pudo observar que hay unas zonas más conservadas hacia las partes centrales del relicto de bosque mientras que, hacia su periferia, los robledales se encuentran más intervenidos, entresacados y abiertos, rodeados por potreros de pastizales. El área fue demarcada con estacas pintadas de color rojo en los bordes de la parcela; se ubica a una altitud de 1.888 msnm, entre la latitud 2.50931592 y 2.50065531, y la longitud -76.53496742 y -76.52655602.

Dentro del fragmento se estableció un transecto de 100 m x 20 m (2000 m²) (Ramírez *et al.*, 2016). Para cada forófito, el muestreo de los líquenes se realizó mediante el uso de una plantilla de acetato de 20 cm de ancho, que fue ubicada de manera horizontal alrededor del tronco en tres (3) alturas: (a) En la base del tronco, (b) a 1 m de altura desde la base, (c) a 2 m de altura desde la base. Sobre el área de la plantilla, se procedió al muestreo de los líquenes allí encontrados, los cuales fueron fotografiados (en seco y en húmedo) y rotulados en bolsas de papel, y luego secados al aire libre, mientras fueron transportados hacia las condiciones de laboratorio requeridas para su tratamiento taxonómico. Se elaboró una base de datos con todos los campos requeridos en las colecciones liquénicas (ver Tabla 1), para la documentación de registros biológicos, en sus referentes taxonómicos, geográficos y temporales.

Tabla 1: Campos utilizados en la construcción de una base de datos para los líquenes a muestrear.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Fecha	Fecha del muestreo
Hora	Hora del muestreo
Número del forófito	Número consecutivo para cada forófito
Coordenada	Coordenada de ubicación del forófito
DAP	Diámetro a la altura del pecho
CAP	Circunferencia a la altura del pecho
pH	pH del suelo o sustrato de cada árbol
Registro de luz	Foto hemisférica - cámara fotográfica
Altura de la muestra	Altura sobre el tronco a la que se toma la muestra
Talo	Forma de crecimiento (escuamuloso, gelatinoso, dimórfico, crustoso, folioso, fruticoso)

Color	Color del líquen= color superficial del talo cuando hidratado
Fotobionte	Fotobionte (clorococcoide, trentepohlioide, cianobacteria)
Estructura reproductiva	Modo de reproducción (apotecios, peritecios, lirelas, isidios, soledios)
Cobertura %	Porcentaje de cobertura de cada líquen sobre la cuadrilla
Prueba KOH y Cl	Se consideran reacciones positivas los cambios de coloración (rojo, amarillo, violeta, anaranjado), y negativas si no existen cambios de color. (Chaparro y Aguirre, 2002)
Prueba I	Requiere montaje en microscopio. Reacción azul (I'+)= amiloide, reacción rojiza (i+)= hemiamiloide, sin reacción (I-)= no amiloide.

En la fase de laboratorio se realizó la identificación taxonómica de los líquenes muestreados, al menos hasta el nivel de *Género*, procurando su identificación al máximo nivel de detalle, para lo cual se usaron las claves de Sipman & Aguirre (1982), Sipman (2005), y aquellas de las familias *Collemaaceae*, *Graphidaceae* y *Lobariaceae* (Rivas et al. 2010, Moncada et al. 2013, Otálora et al. 2014). Para la caracterización de biotipos de líquenes, se caracterizó cada especie de acuerdo con cuatro caracteres principales (Ramírez et al., 2016): (a) Forma de crecimiento del talo; (b) Color superficial del talo hidratado; (c) Tipo de fotobionte; (d) Modo de reproducción (Tabla 1).

Cada muestra fue procesada de la siguiente manera: (a) Documentación de las características morfológicas, mediante el uso de estereoscopio y microscopio; (b) Clasificación de morfotipos, con características morfológicas parecidas; (c) Pruebas Químicas sobre las estructuras vegetativas (corteza y médula) y reproductivas (himenio y esporas) del líquen, y se anotó su reacción en el formato diseñado, las cuales son indispensables para la identificación de taxones y biotipos (Tabla 1). Bajo cada forófito se realizó una captura fotográfica periférica, usando un lente de “ojo de pez” (180°), calculando los porcentajes de luz y sombra del dosel, como una medida de la luminosidad. De esta manera, se obtuvieron tres (3) levantamientos para cada uno de los 16 forófitos, para un total general de 48 levantamientos de biotipos de líquenes, de acuerdo con el uso de la plantilla de acetato.

Resultados

El bosque seleccionado es categorizado como Subandino, donde predominan árboles de roble (*Q. humboldtii*), además de algunos representantes de las familias botánicas *Ericaceae*, *Araceae*, así como algunos individuos del género *Palicourea* (*Rubiaceae*), helechos arborescentes (*Cyathea* sp.), *Elaeagia utilis*, palmas (*Areaceae*). Hay gran variedad de epífitas vasculares de las familias *Bromeliaceae*, *Orchidaceae*, *Piperaceae*, así como de epífitas no vasculares como briófitos y líquenes; el suelo generalmente está cubierto por una capa de hojarasca con abundante presencia de hongos y líquenes caídos. El dosel es cerrado, con bastante oscuridad en el interior del bosque.

A través de la identificación de laboratorio de las muestras de líquenes recolectadas en campo, se obtuvo un listado de 34 morfotipos de líquenes, mediante el uso de las claves taxonómicas mencionadas previamente (Tabla 2). En la figura 1 se pueden apreciar las macrofotografías de cada espécimen, cuya numeración se encuentra relacionada en la tabla 2, que contiene una apreciación visual aproximada de las principales características de los morfotipos identificados. Ninguna de las muestras presentó ausencia de líquenes, de suerte que ninguna de ellas fue excluida de los análisis.

Tabla 2: Especies de biotipos preliminares identificados en este estudio (A: abundancia)

#	Biotipo preliminar	A	Descripción
1	<i>Astrothelium nitidiusculum</i>	5	Color: Verde claro Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Peritecios con ostiolo negro y borde talino blanco Fotobionte: Clorococoide Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I-, Cl+), Médula (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH+, I+, Cl+)
2	<i>Bogoriella tripeteliaceae</i>	1	Color: Verde oliva Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Peritecios Fotobionte: Clorococoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I-, Cl+), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
3	<i>Chrysothrix candelaris</i>	1	Color: Amarillo Tipo de Talo: Rudimentario, apariencia granulosa Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococoide Pruebas Químicas: KOH – en la corteza
4	<i>Cladonia coniocraea</i>	11	Color: Verde Tipo de Talo: Dimórfico, con talo horizontal folioso, pequeño, envés blanco, cilios marginales cortos blancos, con podocios. Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Trebouxia Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I+, Cl+), Médula (KOH-, I-, Cl+)
5	<i>Flavopunctellia</i> sp. 1	2	Color: Verde claro Tipo de Talo: Folioso, con isidios verde claro, envés café oscuro, brillante, con ricinas negras cortas. Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Trebouxia Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl-)
6	<i>Graphis</i> sp. 1	2	Color: Gris verdoso Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Lirelas negras, esporas pluriseptadas Fotobionte: Clorococcoide

			Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I+, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH+, Cl-)
7	<i>Graphis</i> sp. 2	3	Color: Blanco crema Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Lirelas negras agrupadas Fotobionte: Trentepohlia Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
8	<i>Graphis</i> sp. 3	3	Color: Blanco con pruina Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Lirelas pequeñas negras dispersas por toda la corteza Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
9	<i>Herpothallon rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot et al.	36	Color: Rojo Tipo de Talo: Costroso, bisoide, con isidios rojos Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Filamentoso Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl+), Médula (KOH+).
10	<i>Herpothallon</i> sp. 1	8	Color: Verde claro con borde blanco, médula blanca, isidios blancos Tipo de Talo: Costroso, bisoide Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Filamentoso Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl+), Médula (KOH+)
11	<i>Herpothallon</i> sp. 2	5	Color: Verde menta con isidios rosados, médula blanca Tipo de Talo: Costroso, bisoide Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I+, Cl+)
12	<i>Heterodermia obscurata</i>	1	Color: Verde con envés blanco Tipo de Talo: Folioso con ricinas negras marginales; soledios marginales blancos Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: No identificado Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl+)
13	<i>Heterodermia</i> sp. 1	4	Color: Verde Tipo de Talo: Folioso Estructura reproductiva: Apotecios naranja claro Fotobionte: Clorococcoide

			Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-), Himenio I+ amiloide
14	<i>Heterodermia tremulans</i>	6	Color: Verde Tipo de Talo: Folioso con envés blanco, ricinas negras, cilios negros marginales y soledios Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
15	<i>Hypotrachyna</i> sp. 1	2	Color: Verde claro Tipo de Talo: Folioso, con ricinas ramificadas dicotómicas, envés negro Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+), Médula (KOH-)
16	<i>Lecanactis epileuca</i>	15	Color: Verde claro Tipo de Talo: Costroso, bisoide Estructura reproductiva: Apotecios Fotobionte: Trentepohlia Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I-, Cl+), Médula (KOH+, I+, Cl+), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl+)
17	<i>Lecanactis</i> sp. 1	7	Color: Blanco Tipo de Talo: Costroso, bisoide Estructura reproductiva: Picnidios blancos Fotobionte: Trentepohlia Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl+), Médula (KOH+, I+, Cl+), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl+)
18	<i>Lepraria</i> sp. 1	2	Color: Verde Tipo de Talo: Costroso, granuloso, bisoide Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I+, Cl+)
19	<i>Lepraria</i> sp. 2	1	Color: Naranja Tipo de Talo: Costroso, granuloso Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I+, Cl-)
20	<i>Lepraria</i> sp. 3	1	Color: Verde Tipo de Talo: Leproso, apariencia granulosa Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-)
21	<i>Micarea clavopycnidiata</i>	1	Color: Verde Tipo de Talo: Costroso

	Brodo, I. M. & Tonsberg		Estructura reproductiva: Apotecios negros Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH-, I-, Cl-), Médula (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-), himenio amiloide I+ azul
22	<i>Myriotrema</i> sp.	1	Color: Blanco Tipo de Talo: Costroso con estructuras blancas en forma de roseta Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: No identificado Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I+, Cl-), Médula (KOH-, I+, Cl-), Estructura Arrosetada (KOH-, I+, Cl-)
23	<i>Ocellularia</i> sp. 1	4	Color: Verde oliva Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Peritecios, ostiolo color crema Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
24	<i>Ocellularia</i> sp. 2	5	Color: Verde oliva Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Peritecios con borde talino verde y ostiolo café Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl-)
25	<i>Ocellularia</i> sp. 3	1	Color: Gris claro Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Peritecios con areola blanca Fotobionte: No identificado Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH-, I+, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl-)
26	<i>Parmotrema austrosinense</i>	2	Color: Gris verdoso Tipo de Talo: Folioso, con cilios marginales negros largos, ricinas negras aisladas, envés negro, médula blanca, con soledios marginales Estructura reproductiva: Ausente Fotobionte: Clorococcoide Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl+), Médula (KOH-, I-, Cl+)

27	<i>Parmotrema reticulatum</i>	4	<p>Color: Gris verdoso</p> <p>Tipo de Talo: Folioso, con ricinas negras</p> <p>Estructura reproductiva: Ausentes</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: Talo (KOH+rojo, Cl-), Médula (KOH-, Cl-)</p>
28	<i>Parmotrema</i> sp. 1	1	<p>Color: Gris verdoso</p> <p>Tipo de Talo: Folioso, con ricinas negras ramificadas</p> <p>Estructura reproductiva: Ausente</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: Talo (KOH+, Cl-), Médula (KOH+, Cl-)</p>
29	<i>Parmotrema</i> sp. 2	6	<p>Color: Gris verdoso</p> <p>Tipo de Talo: Folioso, cilios marginales negros, largos, ricinas largas ramificadas, envés negro, con isidios</p> <p>Estructura reproductiva: Ausente</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+)</p>
30	<i>Phyllospora</i> sp. 1	1	<p>Color: Verde</p> <p>Tipo de Talo: Escumuloso</p> <p>Estructura reproductiva: Apotecios biatorinos café rojizo</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: No realizadas, espécimen muy pequeño</p>
31	<i>Poliblastidium japonicum</i>	2	<p>Color: Verde</p> <p>Tipo de Talo: Folioso con envés blanco, ricinas negras largas, soredios verde blanco</p> <p>Estructura reproductiva: Ausente</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: Talo (KOH+), Médula (Cl-)</p>
32	<i>Pyrenula</i> sp. 1	1	<p>Color: Verde oliva</p> <p>Tipo de Talo: Costroso</p> <p>Estructura reproductiva: Peritecios agrupados negros</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p> <p>Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I+, Cl+), Estructura Reproductiva (KOH+, I-, Cl+), Himenio I+ amiloide</p>
33	<i>Pyrenula</i> sp. 2	10	<p>Color: Verde/Café</p> <p>Tipo de Talo: Costroso</p> <p>Estructura reproductiva: Peritecios negros</p> <p>Fotobionte: Clorococcoide</p>

			Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH-, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)
34	<i>Usnea</i> sp.	1	Color: Blanco crema Tipo de Talo: Costroso Estructura reproductiva: Lirelas negras agrupadas Fotobionte: Trentepohlia Pruebas Químicas: Talo (KOH+, I-, Cl-), Médula (KOH+, I-, Cl-), Estructura Reproductiva (KOH-, I-, Cl-)

La fase de identificación taxonómica es quizás, la parte más compleja y demorada de aquellas que componen este trabajo de investigación, dado que las estructuras liquénicas y sus claves taxonómicas encierran cierta complejidad, así como el manejo de cada una de las variables utilizadas en el proceso. En la Tabla 2 se presentan los principales resultados de la fase de identificación para cada morfoespecie (hasta el nivel taxonómico de Género), a través de una serie de fichas informativas donde se observan los resultados de las pruebas y principales características de cada una de ellas. El procesamiento taxonómico de las muestras obtenidas en campo, así como la toma de todas las características mencionadas, permitió definir unos morfotipos que fueron adoptados como biotipos de líquenes para la presente investigación (tabla 2), la figura 1 se constituye en una ficha para la identificación rápida de biotipos de líquenes basados en el Género taxonómico de los mismos, que puede ser consultada de manera rápida y eficiente por los investigadores desde un dispositivo móvil, como insumo para la identificación preliminar de Géneros, así como para su agrupamiento en biotipos de líquenes, como pretende esta investigación.

Los bosques de roble (*Q. humboldtii*) ubicados en territorio colombiano son complejos ecosistemas que se deben proteger y conservar; sin embargo, los robledales ubicados en las áreas de expansión urbana de los municipios colombianos, tienden a desaparecer, al igual que sus poblaciones naturales, que son entresacadas para la obtención de leña y carbón. En este sentido, es preciso que las compensaciones por aprovechamiento del componente biótico que ejecutan las empresas sobre el territorio nacional incluyan de manera efectiva el componente liquénico y, para ello, la Figura 1 permitirá un acercamiento más expedito a la identificación de este grupo de organismos, lo cual favorecerá su conservación, especialmente en la medida de rehabilitación ecológica, que incluye todos los componentes de los ecosistemas, de manera acorde con los documentos normativos del Estado colombiano.

El proceso seguido con cada muestra fue documentado fotográficamente, mediante la adaptación de la cámara digital en un soporte adosado a los oculares del Estereoscopio y Microscopio utilizados. Esta documentación fotográfica permite llevar una trazabilidad sobre los procedimientos desarrollados y aplicados sobre cada una de las muestras y los especímenes, como un acervo metodológico para la identificación de la taxonomía y de los biotipos de líquenes, las cuales se encuentran almacenadas en una carpeta, cada una de las cuales está orgánicamente relacionada con los registros de la base de datos, que incluyen los resultados de esas mismas pruebas. Este material se encuentra disponible para su uso por parte del sector académico interesado en el desarrollo del conocimiento sobre hongos liquenizados en Colombia.

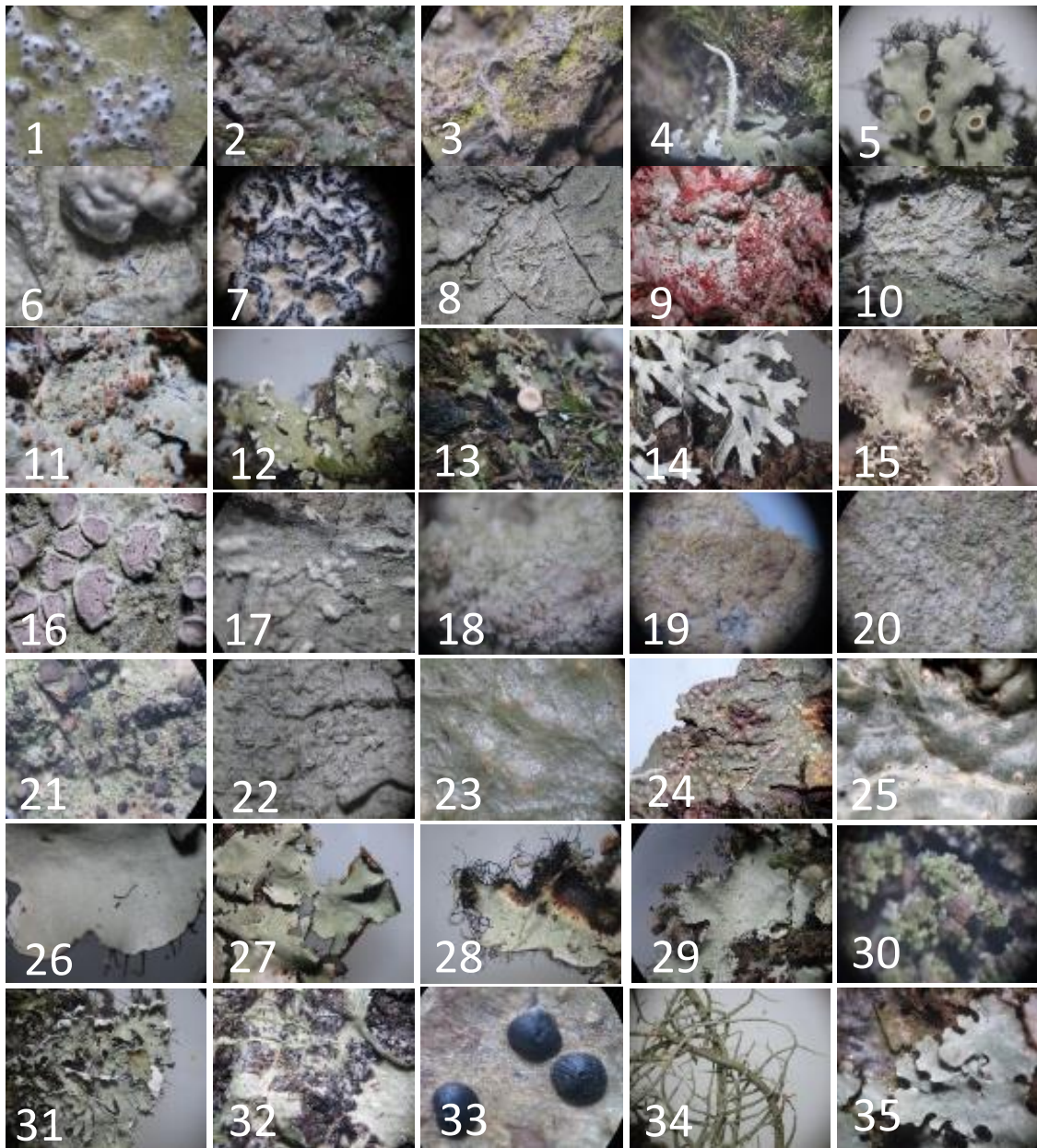


Figura 1: GUÍA RÁPIDA - Visualización morfológica de 34 de los 46 morfotipos identificados. Véase la Tabla 2 para la identificación de los números. El número 35 corresponde a uno de los 12 especímenes no identificados (Fuente: Este estudio).

Discusión

Es común que ciertos grupos biológicos gocen de una mayor o menor atención entre los investigadores del mundo, de acuerdo con condiciones propias de cada uno de ellos, como

su visibilidad, su relevancia económica, su abundancia o su escasez, y demás factores que han congregado a los científicos de una manera más masiva, como es el caso de las aves, los mamíferos y las plantas vasculares. En este proceso investigativo de las instituciones, algunos grupos han recibido menor atención, entre ellos los líquenes, musgos y hepáticas, importantes componentes de la flora no vascular, no solo por su valor ecológico sino por los servicios ambientales significativos para el desarrollo sostenible de las sociedades, como es su capacidad bioindicadora de perturbaciones ambientales, de contaminación del aire en las ciudades, sus usos alimenticios y, especialmente, sus usos medicinales, que son bastante promisorios en un futuro cercano, de acuerdo con la literatura especializada. Por ello, la investigación de las comunidades liquénicas incide directamente en ciertos aspectos de la sostenibilidad de los territorios, especialmente desde el conocimiento y el uso de recursos para la humanidad.

La identificación taxonómica de las comunidades liquénicas hasta el nivel de especie, es un ejercicio que demanda la inversión de grandes cantidades de tiempo, que incluye las actividades de toma de datos y muestras en campo, y su procesamiento posterior en una etapa de laboratorio que comprende ciertos componentes como la interpretación de claves taxonómicas relativamente complejas, la observación, toma de fotografías y caracterización de una gran cantidad de estructuras propias de este grupo de organismos, usando potentes lupas, así como estereoscopio (45X) y microscopio (100X). Por otro lado, en los trabajos que incluyen un componente taxonómico es preciso asesorarse de expertos en cada uno de los subgrupos (géneros) que compone el complejo universo de los líquenes, para obtener la máxima certeza y actualización de la literatura científica disponible. Estas circunstancias – evidenciadas en el transcurso propio de esta investigación- son determinantes para que las empresas que deban hacer trabajos con líquenes, por ejemplo, en el marco de las compensaciones del componente biótico (MADS 2018) presten poca atención sobre estos, y dediquen la mayor cantidad de esfuerzo sobre las plantas vasculares. Esta es una situación común incluso en los estudios académicos de las Universidades, donde hay algunos grupos de organismos relativamente olvidados o relegados a pocos especialistas. Resulta evidente la existencia de grandes cantidades de literatura científica sobre la flora vascular, y un número comparativamente bajo correspondiente a la flora no vascular, como es el caso de los hongos liquenizados.

La diversidad de líquenes en el bosque de roble (*Q. humboldtii*) estudiado es relativamente baja con respecto a lo encontrado por Ramírez-Morán *et al.* (2016) en bosques de encenillo (*Weinmannia tomentosa*) (54 especies, 17 biotipos), probablemente debido que dicha investigación es comparativa entre fragmentos y requiere de un muestreo total de individuos más numeroso (714 registros). Es de esperarse que, al aumentar el alcance y la intensidad de los muestreos, se obtenga un correspondiente aumento en la riqueza específica, además de las particularidades propias de los bosques muestreados por Ramírez-Morán *et al.* (2016) donde encontraron no sólo mayor variedad de especies sino que contaron con mayor variedad de muestras por especie, lo cual facilita el proceso de identificación, al encontrar ejemplares que exhiben, en su conjunto, una gran cantidad de características diagnósticas para la identificación taxonómica de los mismos.

Los líquenes son uno de los elementos formadores de suelo en los ecosistemas, que contribuye a los ciclos de materia y energía dentro de los mismos, y que ocupan múltiples nichos dentro de la sostenibilidad de los bosques tropicales, específicamente en el caso de

los bosques de roble, donde la especie dominante es *Q. humboldtii* y no hay muchas fuentes de materia orgánica que aporten su biomasa al sistema radicular; es por ello que, como lo mencionan Andrade (1993) y Gentry (1993) el roble se desarrolla sobre suelos relativamente secos y pobres en contenido de materia orgánica, pedregosos y empinados, lo cual se suma a las alelopatías establecidas en el robledal para impedir el establecimiento de otras especies, que le hacen un ecosistema de baja riqueza en plantas vasculares. En este contexto, la flora no vascular (musgos, líquenes y hepáticas) cobra relevancia no sólo por su aporte en términos de materia orgánica, o la humedad que puedan retener sobre las cortezas y en el dosel del bosque, sino además por los nutrientes que éstos puedan sintetizar para la supervivencia del bosque desde una perspectiva macro.

Por otro lado, un hecho que llamó la atención es que los ejemplares recolectados en este estudio, sobre cortezas ubicadas en alturas hasta 2 m, el desarrollo del cuerpo liquénico es comparativamente bajo con respecto al que exhibían los líquenes ubicados en las ramas altas, que fueron observados con binóculos y en las ramas caídas por el viento, los cuales no fueron incluidos en el muestreo. A este respecto, se encuentra en la literatura que los líquenes presentan mayor riqueza, abundancia y tamaño en ambientes con alta luminosidad (Lücking, 1999; Soto *et al.* 2012), mientras que el bosque estudiado es bastante cerrado en su dosel, y en los estratos bajos del mismo (<2m) la penetración lumínica es escasa. En este sentido, el bosque de Clarete seleccionado para este estudio se ubica en una ladera estrecha, cuyas condiciones topográficas se suman al efecto que tiene la arquitectura del dosel sobre el desarrollo de líquenes en las partes bajas, cercanas al suelo.

Ahora bien, siguiendo la categorización UICN propuesta por Cárdenas y Salinas (2007), que ubica al *Q. humboldtii* como una especie vulnerable a la extinción, y antecedentes como la Resolución 0316 de 1974 del INDERENA y la Resolución 096 de 2006 MADS, el presente estudio busca facilitar a los investigadores el trabajo con comunidades liquénicas, teniendo en cuenta que se encuentran explícitamente mencionados en el *Manual de Compensaciones del Componente Biótico* dispuesto por el Estado colombiano para las intervenciones de toda obra civil sobre el territorio, como una de las variables a tomar en consideración para la compensación bajo la forma de Rehabilitación Ecológica (para los casos de levantamiento de veda, de la cual es objeto el roble), en cuyo objetivo principal se encuentra el restablecimiento de las condiciones ecológicas de los ecosistemas originales con el mayor grado de efectividad. Precisamente, la presencia de líquenes y otros representantes de la flora criptogámica (musgos, hepáticas) son indicadores de la rehabilitación de los ecosistemas. Pese a ser poco estudiados y poco conocidos, los líquenes conforman un grupo de alto interés para la bioindicación, no solo en los términos enunciados sino también en el monitoreo de la contaminación del aire en las ciudades, como un método alternativo (y complementario) al uso de las medidas instrumentales, por cuanto ofrece información de los efectos sobre la biota; y, en general, es un grupo de gran interés en otros campos del conocimiento y del desarrollo sostenible.

Si bien en la mayoría de los casos no se alcanzó a obtener la identificación plena de las especies de líquenes recolectadas, se avanzó en el proceso de identificación taxonómica hasta el nivel de Género, el cual fue retomado para denominar los biotipos de líquenes mencionados en este documento (Tabla 2, Figura 1), y servirá de base para futuras investigaciones que deseen continuar ésta área específica de trabajo en los bosques de roble contiguos al investigado, o que deseen extender sus investigaciones hacia otros estratos del

mismo bosque, donde el desarrollo del cuerpo liquénico es más pronunciado, lo cual permite encontrar mejores ejemplares para su examen minucioso de acuerdo con las técnicas mencionadas en la metodología. En este caso se ofrece una pequeña contribución al conocimiento de la diversidad de las comunidades de hongos liquenizados en bosques de roble, para que las futuras investigaciones puedan basarse en un listado de biotipos de líquenes, con lo que se busca hacer más eficiente el proceso de identificación taxonómica de los mismos.

Agradecimientos

A Henry Reyes Pineda PhD (Universidad de Manizales) por su Dirección en este proceso de investigación; a Bibiana Moncada PhD y Edier Soto Medina PhD, del Grupo Colombiano de Liquenología (GCOL), por su orientación y aportes; a Andrés Vivas MSc (Colegio Nacional de Ecólogos - COLNADE), por su ayuda; y a Arnol Arias (Fundación Universitaria de Popayán) por su ayuda técnica.

Literatura citada

Andrade, G. (1993). CARPANTA selva nublada y páramo Fundación Natura Colombia. Paisaje y biodiversidad en la selva de los Andes.

Bravo, J.A. y López, A.F. (2008). Estructura y Composición Florística de dos bosques de Roble (*Quercus humboldtii*), en el municipio de Popayán, Cauca. (Pregrado). Universidad del Cauca.

Cantor B., S. P., & Urbano L., S. X. (2002). *Estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán, departamento del Cauca* (Pregrado). Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Cauca.

Cárdenas, D. & Salinas, N. (2007). Libro rojo de plantas de Colombia, Especies maderables amenazadas.

Chaparro, M. y Aguirre, J. (2002). Hongos Liquenizados. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Colección Textos. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.

Chilito, L. y Soto, E. (2019). Líquenes cortícolas de los parques de la ciudad de Popayán. Departamento del Cauca. Guía de Campo. Programa de Ecología. Fundación Universitaria de Popayán.

Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution*, 114(3), 471–492.

García, L.C. y Rubiano, L.J. (1984). Comunidades de Hquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Contaminacion Ambiental* 8(13) p. 73-90.

Gentry, A. (1993). CARPANTA selva nublada y páramo. Fundación Natura Colombia. Vistazo general a los bosques nublados andinos y a la flora de Carpanta.

Grace, R. V., & Hayward, G. C. (1978). Establishment and Monitoring of Permanent Lichen Quadrats at Kawerua, Northland, New Zealand. *TANE*, 24, 173–184.

Lücking, R. (1999). Ecology of foliicolous lichens at the “Botarrama” trail (Costa Rica), a neotropical rain forest. I. Species composition and its ecogeographical implications. *Biotropica*, 31(4), 553-564.

Meli, P. (2015). Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica.

Moncada, B., Lücking, R., Betancourt, L. (2013). Phylogeny of the Lobariaceae (Lichenized Ascomycota: Peltigerales), with a reappraisal of the genus *Lobariella*. *Lichenologist* 45: 203-263.

Nash, T. H. (2008). *Lichen Biology*. Leiden: Cambridge University Press. Recuperado a partir de <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=352984>

Nimis, P. L., & Purvis, O. W. (2002). Monitoring Lichens as Indicators of Pollution. En P. L. Nimis, C. Scheidegger, & P. A. Wolseley (Eds.), *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens* (pp. 7–10). Dordrecht: Springer Netherlands.

Otálora, M., Jorgensen, P., Wedin, M. (2014) A revised generic classification of the jelly lichens Collemataceae. *Fungal Diversity* 64: 275-293.

Purvis, W., & Natural History Museum (London, E. (2000). *Lichens*. London: Natural History Museum.

Ramírez-Morán, N.A. (2009). Evaluación de las comunidades liquénicas en dos bosques con diferente historia de uso, de la reserva biológica “Encenillo” Colombia. (Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Ramírez-Morán, N. A., León-Gómez, M., & Lücking, R. (2016). Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de bosque altoandino (Reserva Biológica “Encenillo”, Caldasia, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 31–52. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57821>

Rangel, J.O., Lowy, P. Aguilar, M. (1997). Colombia Diversidad Biótica II, Tipos de Vegetación en Colombia. ICN-UN, IDEAM, MMA. Santafé de Bogotá D.C.

República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá D.C.

República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018) Resolución 0256 de 22 de febrero de 2018. “Por la cual se adopta la actualización del Manual de Compensaciones del Componente Biótico y se toman otras determinaciones”.

República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Manual de Compensación del Componente Biótico. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Bogotá D.C.

Rivas, E., Lücking, R., Simpan, H., Mangold, A., Kalb, K., Lumbsch H. (2010). A world-wide key to the thelotremoid Graphidaceae, excluding the *Ocellularia*-*Myriotrema*-*Stegobulus* clade. *The Lichenologist* 42: 139-185.

Rivas, E., Lücking, R., Thorsten, E.H. (2008). When family matters: an analysis of Thelotremataceae (Lichenized Ascomycota: Ostropales) as bioindicators of biological continuity in tropical forests. Springer Science.

Rubiano, L.J. (1988). Líquenes como indicadores de contaminación en el complejo industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*. Vol. 1. No. 4.

Simijaca, D., Moncada, B., Lüking, R. (2018). Bosque de Roble o plantación de coníferas. ¿Qué prefieren los líquenes epífitos? *Colombia Forestal*, 21(2), 123-141

Sipman, H. (2005). Identification key and literatura guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. Botanic Garden & Botanical Museum Berlin-Dahlem, Free University of Berlin.

Sipman, H. y Aguirre, J. (1982). Contribución al conocimiento de los líquenes de Colombia – 1. Clave Genérica para los líquenes foliosos y fruticosos de los páramos colombianos. *Caldasia* 12: 603-634.

Soto, E., Lüking, R. y Rojas, A.B. (2012). Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zingara, Cali, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 843-856.