

**DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LÍQUENES CORTICÍCOLAS BAJO
INFLUENCIA DE CONDICIONES MICROCLIMATICAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO
DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



LUIS GERARDO CHILITO LÓPEZ

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ECÓLOGO**



**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGÍA
POPAYÁN, CAUCA
2015**

**DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LÍQUENES CORTICÍCOLAS BAJO
INFLUENCIA DE CONDICIONES MICROCLIMATICAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO
DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

LUIS GERARDO CHILITO LÓPEZ

DIRECTOR:

**EDIER ALBERTO SOTO MEDINA
BIÓLOGO**

CODIRECTORA:

**ADRIANA MARCELA PEÑA
BIÓLOGA**

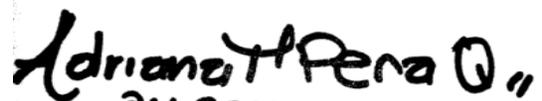
**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGÍA
POPAYÁN, CAUCA
2015**

Nota de aceptación:

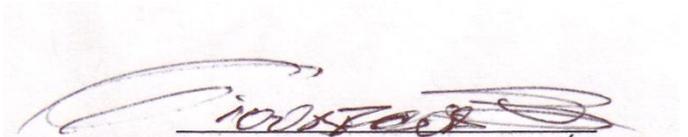
Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la FUNDACION UNIVERSITARIA DE POPAYÁN, para optar al título de Ecólogo.



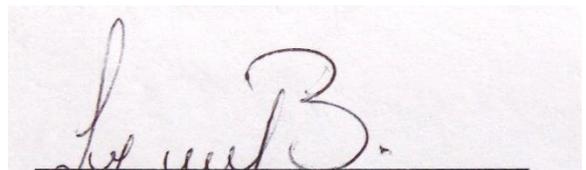
Director



Co -Director



Jurado



Jurado

Popayán, 03 de Noviembre de 2015

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme culminar esta largo transitar universitario.

Especialmente dedico este trabajo a la memoria de mi Padre, quien desde niño me infundo el amor por la naturaleza y la Ecología, quien hasta el último momento de su vida, me brindó su apoyo y confianza para dar por cumplido este logro que igualmente es suyo. Desde el cielo donde sé que estás feliz, a lado de las personas que más amas, te pido que sigas iluminando este nuevo camino como profesional que empiezo.

Dedico este trabajo a mi madre Piedad López, quien fue el motor y quién brindó su confianza y en saber que a pesar de tantas dificultades que hemos pasado en el último tiempo, siempre le vio la buena cara a la vida y no dejó de apoyarme en cumplir unas de las metas, que siempre he soñado, ser Ecólogo.

A mis hermanas Patricia, Rocío, sobrinos, primos, (as), tíos (as), Johana y demás familiares, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional en todos los momentos de la carrera

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi familia, padres, hermanas, mi novia, por su apoyo y dedicación durante toda la carrera.

A la Fundación Universitaria de Popayán, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en área de las Ciencias Naturales y apoyo en eventos científicos.

Un agradecimiento especial a Edier Soto Medina por permitir ser el Director de la tesis, por su dedicación, paciencia y por brindarme todo su conocimiento. Te debo una...

Adriana Marcela Peña por colaborarme como Codirectora de tesis y su asesoría y apoyo constante.

David Díaz Escandón y Viviana Londoño Lemus del Herbario Luis Sigifredo Espinal Tascón - CUVC, por su colaboración en asesorías, determinación de especies y aporte bibliográfico.

Profesora Bibiana Moncada y Robert Lücking por su colaboración en la determinación de especies y asesoría.

Profesor Giovanni Varona y Profesora Lina Fletcher por colaborarme como jurados

Profesora Julieth Chacón por su ayuda en la elaboración de los mapas de referenciación del área de estudio y ubicación de estaciones y puntos de muestreo.

Herbario Álvaro Fernández Pérez – HAFP, en cabeza de su Directora Lina María Fletcher por su colaboración en el préstamo de equipos y asesoría

Laboratorio de química, en cabeza del Docente Arnol Arias y la laboratorista Lady Carvajal, por su colaboración con el préstamo de equipos.

Profesora Nhora Helena Ospina, quien desde su llegada a la Institución fue la que me impulsó en el estudio de los líquenes y otras temáticas de gran valor académico.

Diego Mauricio Cabrera del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y Jesús Vargas Tello, por su colaboración en asesoría y aporte bibliográfico

Profesores del Programa de Ecología por las distintas asesorías enmarcadas en todas las actividades que se desarrollaron a lo largo de la investigación y de la carrera, además de su compromiso con el continuo aprendizaje académico e integralmente hacia el Programa.

A los compañeros del Programa de Ecología por su constante apoyo, conocimiento, paciencia y gratos momentos durante el trascurso de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1. General	18
4.2. Específicos.....	18
5. MARCO REFERENCIAL	19
5.1. Área de estudio.....	19
5.2. Clima.....	22
5.3. Fuentes hídricas	22
5.4. Suelos.....	23
5.5. Geomorfología y Relieve.....	23
5.6. Geología	23
5.7. Fauna.....	23
5.8. Vegetación	24
6. MARCO TEÓRICO	26
6.1. Descripción de los Líquenes	26
6.2. Tipos de talo	26
6.2.1. Según su hábito y morfología	26
6.2.1.1. Talos rudimentarios.....	26
6.2.1.2. Talos filamentosos	27
6.2.1.3. Talos gelatinosos	28
6.2.1.4. Talos crustáceos	28
6.2.1.5. Talos foliosos	29
6.2.1.6. Talos fruticosos	30
6.2.1.7. Talos dimórficos	31
6.2.1.8. Talos escumulosos	31
6.2.2. Según su anatomía.....	32
6.2.2.1. Talo homómero	32
6.2.2.2. Talo heterómero.....	32
6.3. Reproducción.....	32
6.3.1. Asexual.....	32
6.3.2. Sexual.....	32
6.4. Características de la simbiosis.....	33

6.5.	Crecimiento liquénico.....	33
6.6.	Ciclo de vida de un líquen.....	34
6.7.	Ecología de los Líquenes.....	34
6.8.	Bioindicación.....	34
6.9.	Relaciones con el sustrato.....	35
6.10.	Relaciones hídricas.....	35
6.11.	Relaciones con la temperatura.....	36
6.12.	Relaciones con la luz.....	36
6.13.	Caracterización microclimática.....	37
6.14.	Descripción de la unidad de muestreo <i>Cecropia angustifolia</i> Trécul.....	37
6.14.1.	Descripción general.....	37
6.15.	Pruebas estadísticas.....	38
6.15.1.	Índice de Shannon.....	38
6.15.2.	Índice de Simpson.....	39
6.15.3.	Frecuencia.....	39
6.15.4.	Cobertura.....	40
6.15.5.	Similitud.....	40
6.15.6.	Análisis de Correlación de Spearman.....	40
6.15.7.	Escalamiento No Métrico Multidimensional - NMS.....	41
6.15.8.	Análisis de especies indicadoras - IV.....	41
7.	ANTECEDENTES	42
8.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	44
9.	METODOLOGÍA	44
9.1.	Recolección de la información.....	44
9.2.	Premuestreo.....	44
9.3.	Unidad de muestreo y ubicación de estaciones.....	44
9.4.	Muestreo y técnica de recolección de datos.....	45
9.4.1.	Parámetros microclimáticos.....	46
9.4.1.1.	Luminosidad.....	46
9.4.1.2.	Temperatura y Humedad Relativa.....	46
9.4.1.3.	pH.....	46
9.5.	Trabajo de laboratorio y descripción morfológica.....	47
9.6.	Análisis y sistematización de los datos.....	47
9.6.1.	Estadística descriptiva.....	47
9.6.1.1.	Parámetros Ecológicos.....	48
9.6.1.1.1.	Diversidad alfa.....	48
9.6.1.1.2.	Índice de diversidad: Shannon-Weaver.....	48
9.6.1.1.3.	Índice de dominancia: Simpson.....	48
9.6.1.1.4.	Frecuencia.....	48

9.6.1.1.5.	Cobertura	48
9.6.1.1.6.	Representatividad del estudio	49
9.6.1.1.7.	Similitud.....	49
9.6.2.	Estadística Inferencial.....	49
9.6.2.1.	Análisis de correlación de Spearman.....	49
9.6.2.2.	Escalamiento No Métrico Multidimensional - NMS.....	49
9.6.2.3.	Análisis de especies indicadoras simulación de Monte Carlo	49
10.	RESULTADOS	50
10.1.	Parámetros Ecológicos	50
10.1.1.	Diversidad de líquenes.....	50
10.1.1.1.	Índice de Shannon-Weaver.....	50
10.1.1.2.	Índice de Simpson.....	50
10.1.2.	Características reproductivas y tipos de desarrollo	52
10.1.3.	Frecuencia.....	55
10.1.4.	Cobertura	55
10.1.5.	Representatividad del muestreo	56
10.1.6.	Similitud.....	58
10.2.	Parámetros Microclimáticos	59
10.2.1.	Análisis de correlación.....	59
10.2.2.	Luminosidad	60
10.2.3.	Temperatura.....	61
10.2.4.	Humedad relativa	62
10.2.5.	pH de la corteza	63
10.2.6.	DAP	64
10.2.7.	Escalamiento No Métrico Multidimensional NMS	67
10.2.8.	Análisis de especies indicadoras (IV).....	68
11.	DISCUSIÓN	70
11.1.	Parámetros ecológicos.....	70
11.2.	Parámetros microclimáticos	71
12.	CONCLUSIONES	74
13.	RECOMENDACIONES	76
14.	BIBLIOGRAFÍA	77
15.	GLOSARIO	83
16.	ANEXOS	85

Índice de tablas

Tabla 1: Composición de líquenes del Jardín Botánico de Popayán	24
Tabla 2: Escala correlación de Spearman	40
Tabla 3: Referencia de amplia y baja frecuencia de ocurrencia de líquenes por forófito	55
Tabla 4: Referencia de amplia y reducida cobertura de líquenes por forófito	55
Tabla 5: Análisis de correlación para las variables de muestreo	60
Tabla 6: Riqueza y variables microclimáticas	65
Tabla 7: Especies indicadoras para la estaciones de muestreo	69

Índice de Mapas

Mapa 1: Ubicación del Municipio de Timbío en el Departamento del Cauca y de Fundación Universitaria de Popayán en el Municipio de Timbío	20
Mapa 2: Mapa de la Fundación Universitaria de Popayán, sede Los Robles	21

Índice de imágenes

Imagen 1: Liquen rudimentario <i>Candelariella aurella</i>	27
Imagen 2: Liquen filamentoso <i>Coenogonium linkii</i>	27
Imagen 3: Liquen gelatinoso <i>Leptogium phyllocarpum</i>	28
Imagen 4: Liquen crustáceo <i>Haematomma flexuosum</i>	29
Imagen 5: Liquen folioso <i>Sticta subfilicinella</i>	30
Imagen 6: Liquen fruticoso <i>Ramalina celastri</i>	30
Imagen 7: Liquen dimórfico <i>Cladonia</i> sp.	31
Imagen 8: Liquen escuamuloso <i>Parmeliella tritophylla</i>	31
Imagen 9: Reproducción asexual, Soredio e Isidio	32
Imagen 10: Reproducción sexual, apotecios, peritecios y lirelas.....	33
Imagen 11: Árbol de <i>Cecropia angustifolia</i>	38
Imagen 15: Especie <i>Graphis inversa</i> R.C. Harris, nuevo reporte para el neotrópico.....	52
Imagen 16: Líquenes Jardín Botánico de Popayán. A. <i>Coenogonium</i> sp. B. <i>Heterodermia kurokawae</i> . C. <i>Pertusaria</i> sp. D. <i>Graphis argentata</i> E. <i>Sticta</i> aff. <i>impressula</i> F. <i>Ramboldia russula</i> G. <i>Herpothallon rubroechinatum</i> H. <i>Teloschistes flavicans</i> I. <i>Phyllopsora</i> cf. <i>nigrocincta</i> J. <i>Haematomma</i> sp. K. <i>Lecanora</i> sp. L. <i>Canomaculina</i> sp.....	54

Índice de gráficas

Gráfica 1: Precipitación mensual año 2014, con el promedio de precipitación histórico.	22
Gráfica 2: Número de géneros distribuidos en familias de líquenes corticícolas del JBP	51
Gráfica 3: Géneros con mayor riqueza de liquenoflora corticícola del JBP.....	51
Gráfica 4: Tipos de desarrollo de especies de líquenes.....	53
Gráfica 5: Curva de acumulación de especies.....	56
Gráfica 6: Riqueza de especies en las unidades de muestreo.....	57
Gráfica 7: Distribución de especies por estaciones de muestreo.....	57
Gráfica 8: Diagrama de caja esquemática Riqueza – estaciones de muestreo.....	58
Gráfica 9: Análisis clúster para las estaciones y puntos de muestreo.....	59
Gráfica 10: Gráfica de dispersión Riqueza – Luminosidad.....	60
Gráfica 11: Diagrama de cajas esquemáticas Luminosidad – Estaciones de muestreo	61
Gráfica 12: Diagrama de dispersión Riqueza – Temperatura.....	61
Gráfica 13: Diagrama de cajas esquemáticas Temperatura – Estaciones de muestreo	62
Gráfica 14: Diagrama de dispersión Riqueza – Humedad relativa.....	62
Gráfica 15: Diagrama de cajas esquemáticas Humedad Relativa – Estaciones de muestreo.....	63
Gráfica 16: Diagrama de dispersión Riqueza – pH.....	63
Gráfica 17: Diagrama de cajas esquemáticas pH – Estaciones de muestreo.....	64
Gráfica 18: Diagrama de dispersión Riqueza – DAP.....	64
Gráfica 19: Diagrama de cajas esquemáticas DAP – Estaciones de muestreo.....	65
Gráfica 20: Análisis NMS para las estaciones de muestreo.....	68

Índice de anexos

Anexo 1: Composición florística del Jardín Botánico de Popayán.....	85
Anexo 2: Modelo de estimación de cobertura y apertura de dosel en el Densiómetro esférico.....	89
Anexo 3: Ficha fitosociológica para líquenes	89
Anexo 4: Características de estructuras reproductivas de los líquenes Jardín Botánico de Popayán	90
Anexo 5: Cobertura de especies por forófito, frecuencia de ocurrencia por forófito, riqueza de cada forófito, total de la cobertura liquénica del área.	92
Anexo 6: Especies liquénicas registradas en el estudio	96
Anexo 7: Georreferenciación puntos de muestreo	98
Anexo 8: Modelo Etiquetas Herbario Álvaro Fernández Pérez	100
Anexo 9: Índice de Shannon-Weaver	101
Anexo 10: Índice de Simpson	103
Anexo 11: Fotografías in situ de líquenes JBP	105

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la distribución y abundancia de los líquenes corticícolas bajo influencia de diferentes condiciones microclimáticas en el Jardín Botánico de Popayán, ubicado en la sede Los Robles de la Fundación Universitaria de Popayán. Se tomaron en cuenta once estaciones contrastantes distribuidas en la zona, seleccionando cinco individuos de la misma especie. En las colectas de líquenes se trabajó con un muestreo cuantitativo ubicando un cuadrante de 0.50 x 0.20 m² en el tronco de cada árbol, donde se estimó el porcentaje de cobertura de cada especie. Se evaluaron parámetros microambientales como luminosidad, temperatura y humedad relativa, CAP y se evaluó el pH de la corteza. Se realizó un escalamiento no métrico multidimensional (NMS), usando el índice de similitud de Sørensen (Bray-Curtis) y una correlación de Spearman, para evaluar la relación entre las variables ambientales y los agrupamientos en el NMS. Además, se realizó, un análisis de especies indicadoras simulación de Monte Carlo para detectar preferencias de micrositios, y una curva de acumulación de especies para la eficiencia del muestreo. Se registraron 63 especies, de los cuales 36 se identificaron hasta especie, 24 hasta género, y 3 no fueron determinadas. Los resultados obtenidos de los análisis estadísticos, muestran que las variables de luminosidad, temperatura, presentan significancia con una correlación fuerte y positiva con la riqueza de especies; la humedad relativa presenta un correlación fuerte y negativa con la riqueza. Por el contrario, el pH y DAP, presentaron una correlación débil y escasa respectivamente con la riqueza. El estudio presenta una eficiencia de muestreo del 76%, de acuerdo al estimador de Jackknife de primer orden. Las especies *Herpothallon* cf. *japonicum*, *Usnea* sp., *Canomaculina* sp., presentaron preferencias significativas ($p < 0.05$) por micrositios abiertos y *Phyllopsora* sp., y *Sticta subfilicinella* por micrositios cerrados y semiabiertos respectivamente. De igual modo, las especies *Graphis* cf. *rimulosa*, *Haematomma* sp. y *Phyllopsora* cf. *nigrocincta* mostraron preferencias marginalmente indicadoras ($p < 0.1$) por micrositios abiertos y cerrados respectivamente. Por tanto, se concluye que la distribución de los líquenes del Jardín Botánico de Popayán se ve afectada por la luz, la temperatura y la humedad relativa.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the distribution and abundance of lichens corticolous under the influence of different microclimate conditions in the Popayan Botanical Garden, the headquarters located in Los Robles of the University Foundation of Popayan. They were taken into account eleven contrasting stations distributed in the area, selecting five individuals of the same species. In the collects of lichens it worked with a quantitative sampling locating a quadrant of 0.50 x 0.20 m² on the trunk of each tree, where the percentage of coverage for each species was estimated. Microenvironmental parameters such as light, temperature and relative humidity, CAP were evaluated and the pH of the bark was evaluated. Non-metric multidimensional scaling (NMS) was performed using the Sørensen similarity index (Bray-Curtis) and Spearman correlation to evaluate the relationship between environmental variables and the groups in the NMS. In addition was performed an indicator species analysis Monte Carlo simulation to detect preferences microsites, and a curve accumulation of species for sampling efficiency. 63 species were registered, of which 36 were identified to species, 24 to gender, and 3 were not determined. The results obtained of the statistical analyses, show that the variables of luminosity, temperature, they are significant with a strong and positive correlation with the wealth of species; the relative humidity shows one strong and negative correlation with the wealth. On the contrary, the pH and DAP, presented a weak and scanty correlation respectively with the wealth. The study has a sampling efficiency of 76%, according to Jackknife estimator first order. The species *Herpothallon* cf. *japonicum*, *Usnea* sp., *Canomaculina* sp., they presented significant preferences ($p < 0.05$) to opened microsites and *Phyllopsora* sp., and *Sticta subfilicinella* for microsites closed and semiopened respectively. Similarly, the species *Graphis* cf. *rimulosa*, *Haematomma* sp., and *Phyllopsora* cf. *nigrocincta* showed marginally significant preferences ($p < 0.1$) to microsites opened and closed respectively. Therefore, it is concluded that the distribution of lichens in the Popayan Botanical Garden is affected by light, temperature and relative humidity.

1. INTRODUCCIÓN

La distribución de los organismos en el medio, es condicionada por diversos factores bióticos y abióticos, que ejercen presiones en el desarrollo y la vida de ciertas especies en el ambiente; en este caso, los líquenes, al tener un crecimiento y metabolismo lento se ven influenciados por diversos factores ecológicos, entre ellos, el sustrato y variables microclimáticas, especialmente en procesos de formación de los talos y su distribución en el medio (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Variables climáticas como radiación solar, temperatura, disponibilidad de agua, pH, humedad relativa, entre otros, se consideran como factores limitantes que pueden conllevar un cambio notorio en la composición y procesos de colonización de los líquenes en un área limitada (Barreno & Pérez-Ortega, 2003).

Los líquenes epífitos son particularmente sensibles a los cambios climáticos (Nash, Olafsen, 1995; Rivas-Plata *et al.* 2008; Soto-Medina *et al.* 2012) de aquí que los factores que mayor influencia tienen en la fisiología líquénica son los factores abióticos fundamentalmente la luz, la humedad y la temperatura (De los Ríos, 2003), como también el sustrato del cual hacen parte (el pH, la textura y la fisionomía), así como, los factores bióticos como vegetales, animales y el hombre, que tienen influencia sobre los mismos hábitat y modifican las condiciones físico-químicas (Barreno & Pérez-Ortega, 2003) involucradas en el crecimiento y distribución de los líquenes.

Por otra parte, desde el punto de vista ecológico la flora líquénica, presenta importancia para describir distintos procesos que ocurren en el ecosistema, como interacciones con otros organismos vegetales y animales, su ecología como especies bioindicadoras de calidad del aire y por ser considerados pioneros en colonizar distintos ecosistemas (Hawksworth, 1971).

A nivel nacional, se han realizado investigaciones en el estudio de líquenes en diversos campos, como bioindicación, ecología, distribución, biogeografía, sistemática, taxonomía, composición, estructura y diversidad en áreas de reservas naturales, entornos urbanos y rurales, a cargo de profesionales en ciencias naturales de distintas universidades y centros de investigación del país, como por ejemplo: Lücking (1998, 1999, 2009), Moncada, (2006) Sipman (2007), Rincón (2011), Soto-Medina (2012, 2015), Chaparro y Aguirre (2002), Cáceres (2007, 2008), entre otros.

Dentro del Jardín Botánico de Popayán, se presenta una gran diversidad de áreas de conservación in situ y ex situ, como bosque, arboretum, epifitario, a los cuales se asocian una alta diversidad de organismos, entre éstos, los líquenes. De estos, se tiene registros para el Jardín Botánico, una tesis de Cantor y Urbano (2002) sobre bioindicación, donde el Jardín fue un punto de comparación respecto de en La Ciudad de Popayán. Méndez y Vallejo (2003), realizaron un trabajo de grado sobre la evaluación de líquenes foliosos en Pinos y una lista de especies a partir de un curso

taller sobre Ecología y Taxonomía de líquenes realizado en 2013, del cual se tiene un listado preliminar compilado en una guía rápida a color (Soto-Medina *et al.* 2013).

El presente trabajo se enfocó en evaluar las condiciones microclimáticas y las comunidades de líquenes asociadas a cada una de estas, en el Jardín Botánico de Popayán (JBP), que se encuentra dentro de la Fundación Universitaria de Popayán. Se realizaron mediciones de variables ambientales, como temperatura, humedad relativa, disponibilidad de luz, pH y DAP, que permitieron conocer por estaciones de muestreo contrastantes en cuanto a sus características, los factores que afectan la distribución de estos organismos en el Jardín Botánico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Modificaciones en la heterogeneidad del sustrato y del clima en un área limitada, puede conllevar un cambio importante en la composición de la flora líquénica o desaparición de especies raras o vulnerables. A partir de esto, distintas variables climáticas como temperatura, disponibilidad de luz, humedad relativa, pueden considerarse como condicionantes para la distribución de los líquenes, así como, la textura, pH, y el sustrato juegan un papel importante y ejercen gran influencia en el desarrollo y la vida de estos organismos (Barreno & Pérez-Ortega, 2003).

De este modo, esta investigación es importante para contribuir en el conocimiento de la orquideoflora de la región y el efecto del microclima sobre las comunidades de líquenes corticícolas en el Jardín Botánico de Popayán, enfatizando que los factores bióticos como abióticos interactúan unos con otros, para crear el ambiente resultante favorable en el establecimiento de estos organismos, no sólo limitándose a un número determinado de especies a evaluar, sino en microambientes en general, que se encuentran dentro del área de estudio.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la distribución y abundancia de líquenes bajo influencia de condiciones microclimáticas en el Jardín Botánico de Popayán?

4. OBJETIVOS

4.1. General

Evaluar la distribución y abundancia de líquenes corticícolas bajo la influencia de distintas condiciones microclimáticas (luminosidad, temperatura, humedad relativa, pH) dentro del Jardín Botánico de Popayán.

4.2. Específicos

Analizar la variación en la composición y diversidad liquénica dentro de los microhábitats, presente en el Jardín Botánico.

Determinar las condiciones microclimáticas que presentan los distintos microhábitats en el Jardín Botánico de Popayán.

Establecer el efecto del microclima sobre la distribución y abundancia de los líquenes en el Jardín Botánico de Popayán.

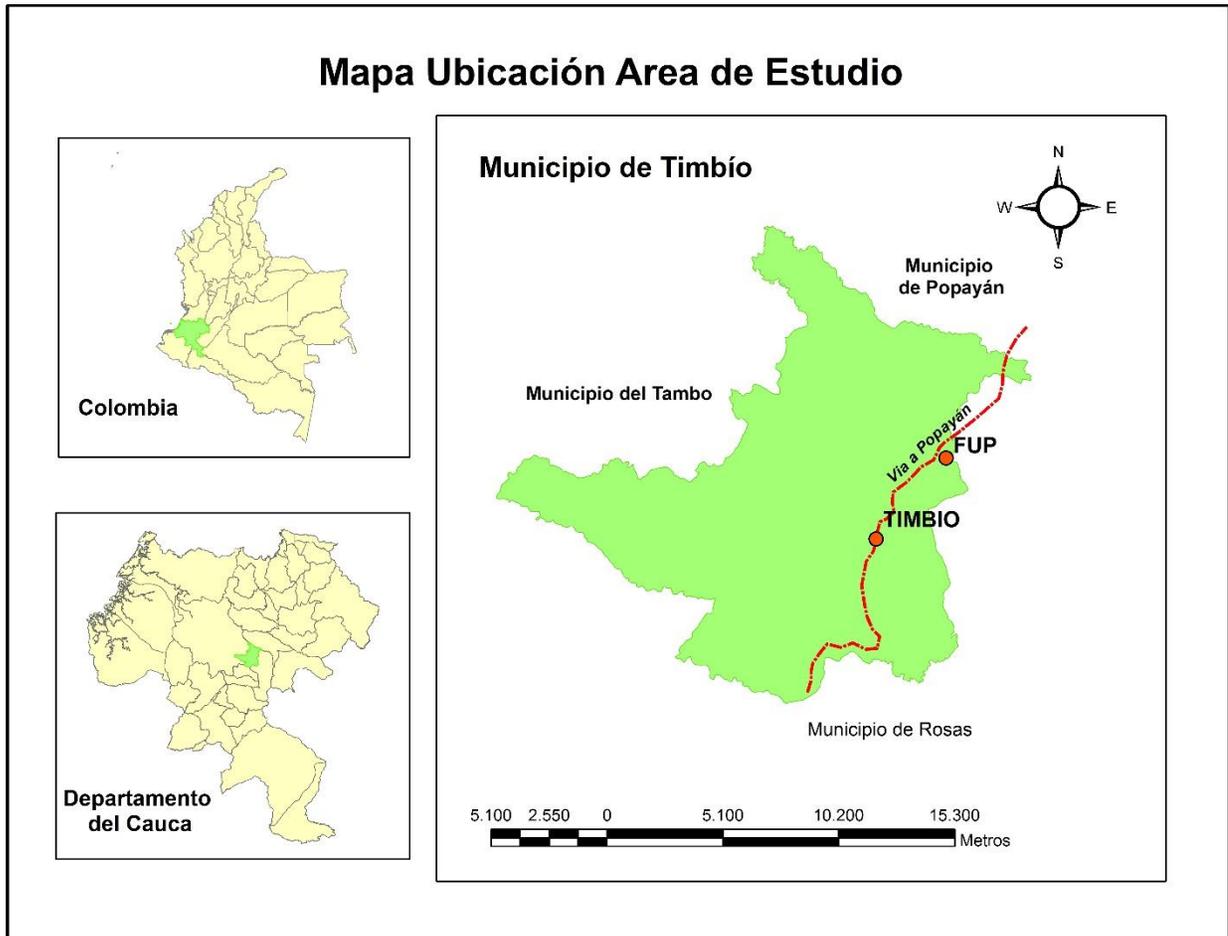
5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Área de estudio

La Fundación Universitaria de Popayán (FUP), Campus los Robles, está ubicada a 8km de la ciudad de Popayán, vía al Municipio de Timbío, en el Departamento del Cauca. En esta se encuentra, el Jardín Botánico, el cual cuenta con ocho hectáreas de las cuarenta y seis que posee la Institución y se sitúa en el flanco occidental de la Cordillera Central a 1850 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 18 ° C, con coordenadas geográficas de 2°23' Latitud norte y 76°40' longitud oeste (Méndez y Vallejo, 2003). El área corresponde a la zona de vida de Selva Subandina (Cuatrecasas, 1958).

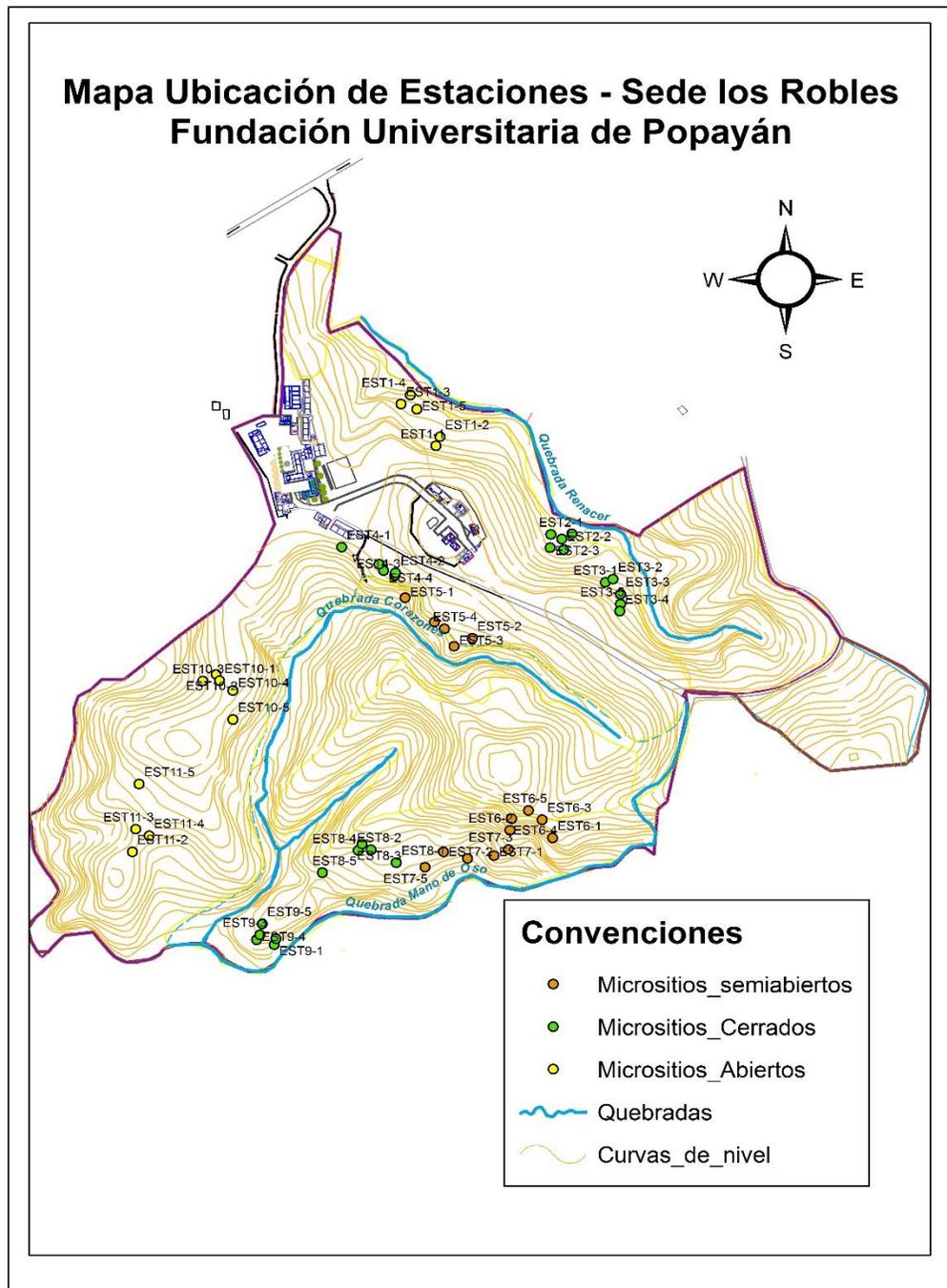
La hacienda Los Robles son tierras localizadas en la altiplanicie de Popayán-Timbío, con un tipo de relieve de lomas y colinas, con un clima templado húmedo y una vocación agrícola con cultivos permanentes semi-intensivos y agroforestal cuyo uso principal es agrosilvopastoril, con suelos bien drenados moderadamente profundos y con un relieve variable, desde ligeramente ondulados a escarpados originados de rocas ígneas y de cenizas volcánicas siendo así, suelos ácidos (IGAC, 2009; Vargas, 2014).

Mapa 1: Ubicación del Municipio de Timbío en el Departamento del Cauca y de Fundación Universitaria de Popayán en el Municipio de Timbío



Fuente: timbio-cauca.gov.co. (Méndez y Vallejo, 2003; Vargas 2014). Editado por Ingeniera Forestal Julieth Alexandra Chacón.

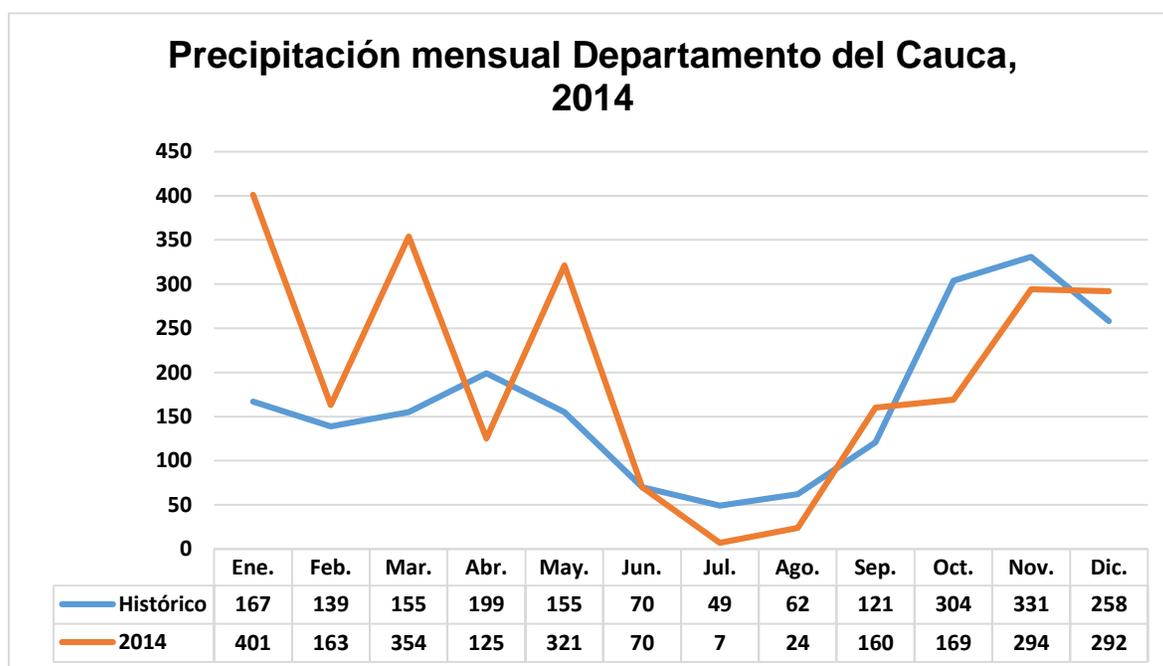
Mapa 2: Mapa de la Fundación Universitaria de Popayán, sede Los Robles



Fuente: (Chicangana, 1998; Guetio y Solarte, 2000). Editado por Ingeniera Forestal Julieth Alexandra Chacón con las estaciones y unidades de muestreo.

5.2. Clima

El clima de la región corresponde al tropical lluvioso; se caracteriza por presentar condiciones de tipo bimodal (Méndez y Vallejo, 2003; Vargas, 2014). Se identificaron las épocas de lluvias fuertes en marzo-mayo, las lluvias menos fuertes en octubre-diciembre y las épocas secas en enero-febrero y junio-septiembre, con un total de precipitación anual promedio de 2200mm (estación climatológica del aeropuerto Guillermo León Valencia; López y Bastidas, 2010; Vargas, 2014), con una temperatura media de 18.7°C y una humedad relativa que oscila entre los 63-81% (Negret *et al.* 1997; López y Bastidas, 2010; Vargas, 2014).



Gráfica 1: Precipitación mensual año 2014, con el promedio de precipitación histórico
Fuente: Estación climatológica Manuel Mejía El Tambo Cauca. (Idrobo y Peralta, 2015)

Para el año 2014, el comportamiento de la precipitación generó una épocas lluvias intensas en los meses de enero, marzo, mayo y entre octubre –diciembre y épocas de lluvias menos intensas en los meses de febrero, abril y unas mucho más marcada entre junio-septiembre (Gráfica 1), generándose un comportamiento no tan similar en algunos meses como los datos registrados en el histórico en la estación climatológica Manuel Mejía de El Tambo Cauca (Idrobo y Peralta, 2015)

5.3. Fuentes hídricas

El Jardín Botánico de Popayán cuenta con las quebradas Wettu, Corazones, Mano de Oso y Renacer; donde los drenajes están controlados principalmente por los ríos

Robles, Timbío y Piedras, y las vertientes san Jorge, El Muerto, El Hato Nuevo y Cenaqueras (Ramírez y Ortiz, 1988; Guetio y Solarte, 2000; Méndez y Vallejo, 2003; Vargas, 2014). En el área se encuentran cuatro quebradas, Renacer, Mano de Oso, Wettuu y Corazones y en una de ellas se puede apreciar en época de invierno una caída de agua de más de 7 m de altura. (Cantor & Urbano, 2002).

5.4. Suelos

Pertenece en su mayor extensión al nuevo orden de andisoles y son suelos desarrollados a partir de cenizas cuya fracción mineral está dominada por minerales de bajo grado de ordenamiento o por complejos de aluminio Sílice – Humus (Guetio & Solarte, 2000; Méndez & Vallejo, 2003).

Por otro lado, se identifican tres clases de suelos de acuerdo a la capacidad de uso. Las clases IV, V, VI que se caracterizan por presentar una baja fertilidad y se ven limitados por la pendiente, profundidad efectiva y acidez, característicos de la formación de bosque subandino (Guetio & Solarte, 2000; Méndez & Vallejo, 2003).

5.5. Geomorfología y Relieve

El área del Jardín Botánico de Popayán, se asienta sobre el flanco occidental de la cordillera central, tratándose de una falda montañosa cuya pendiente general en sentido norte-sur es del 40 % aproximadamente (Méndez & Vallejo, 2003). De igual manera, los paisajes que se observan son excepcionales, abarca terrenos planos, espacios suavemente ondulados, zonas pendientes y accidentadas y montañas escarpadas (Cantor & Urbano, 2002).

5.6. Geología

La sede Los Robles de la Fundación Universitaria de Popayán pertenece a la formación Popayán, caracterizándose principalmente por la presencia de suelo arcilloso y arenoso, derivado de la meteorización (Méndez & Vallejo, 2003). Se destaca en la región la falla Cauca – Almaguer y el sistema de fallas de Romeral (Chicangana, 1999).

5.7. Fauna

La fauna está representada por mamíferos como ardillas (*Sciurus vulgaris*), zarigüeyas (*Didelphis marsupialis*), conejos (*Oryctolagus* sp.) y ratones de campo (*Apodemus sylvaticus*), además de la presencia de trece especies de quirópteros pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Phyllostomidae, (Castro-Zura, 2000; Vargas, 2014). Esta última familia comprende 8 especies distribuidas en tres Subfamilias Carollinae con las especies *Carollia brevicauda* y *Carollia perspicillata*, Stenodermatinae con las especies *Artibeus lituratus*, *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus*

(*dermanura*) *phaeotis*, *Platyrrhinus chocoensis* y *Vampyressa melissa* y la Subfamilia Phyllostominae con la especie *Phyllostomus discolor* (Idrobo y Peralta, 2015)

Aves como barranqueros (*Momotus aequatorialis*), cerrajas (*Cyanocorax yncas*), tangaras (*Thraupidae* sp), azulejos (*Thraupis episcopus*), gorriones (*Zonotrichia capensis*), toriadores (*Tyranidae* sp) y carpinteros (*Colaptes* sp.) (Vargas, 2014); Otros grupos como, insectos pertenecientes a los Órdenes Lepidoptera (mariposas, polillas), Coleoptera (escarabajos), Orthoptera (saltamontes, grillos). Reptiles como, falsa coral (*Lampropeltis triangulum*), jueteadora (*Chironius monticola*), coral (*Micrurus* sp.), rabo de ají (*Micrurus mipartitus*) y culebra huertera (*Sibon nebulata*) (CEIN, 1999; Méndez y Vallejo, 2003; Vargas, 2014).

5.8. Vegetación

La vegetación del área de estudio se referencia dentro de la zona de vida de selva Subandina (Cuatrecasas, 1958). Se han determinado 58 familias botánicas, entre las que sobresalen Araceae, Asteraceae, Bromeliaceae, Lauraceae, Moraceae, Melastomataceae, Orquidaceae, Poaceae y Rubiaceae, de las cuales hay identificadas a nivel de género 70 y a nivel de especie 99 individuos distribuidos en los estratos epífita, trepador rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo (Baca y Lozano, 1999; Méndez y Vallejo, 2003). En los diferentes estratos se observa vegetación asociada con orquídeas, bromelias, musgos, líquenes, helechos, bejucos y lianas (Cantor & Urbano, 2002) (Anexo 1).

Respecto a liquenoflora del Jardín Botánico, se encuentra una lista preliminar de un trabajo de grado (Cantor y Urbano, 2002) y de un curso taller sobre Ecología de líquenes dictado por Edier Soto Medina, del cual se presenta un producto registrado en la base de datos de The Field Museum de la Universidad de Chicago (Tabla 1), y se compone de 21 familias, 27 determinadas hasta género y 25 hasta el nivel de especie.

Tabla 1: Composición de líquenes del Jardín Botánico de Popayán

Familia	Género	Especie
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i>
	<i>Herpothallon</i>	<i>rubroechinatum</i>
Brigantiaeaceae	<i>Brigantiaea</i>	<i>leucoxantha</i>
Cladoniaceae	<i>Cladia</i>	sp.
	<i>Cladonia</i>	sp.
Coccocarpiaceae	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i>
	<i>Coccocarpia</i>	<i>prostrata</i>
	<i>Coccocarpia</i>	sp.
Collembataceae	<i>Leptogium</i>	<i>eriodermoides</i>
	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i>
	<i>Leptogium</i>	sp.

Graphidaceae	<i>Graphis</i>	sp.
	<i>Glyphis</i>	<i>cicatricosa</i>
	<i>Ocellis</i>	<i>alba</i>
	<i>Platygramme</i>	<i>caesiopruinosa</i>
Haematommataceae	<i>Haematomma</i>	<i>flexuosum</i>
Hygrophoraceae	<i>Cora</i>	<i>byssoides</i>
	<i>Dictyonema</i>	sp.
Lecanoraceae	<i>Candelaria</i>	sp.
	<i>Lecanora</i>	sp.
Lobariaceae	<i>Densdriscocaulon</i>	sp.
	<i>Lobaria</i>	<i>peltigera</i>
	<i>Lobaria</i>	sp.
	<i>Sticta</i>	sp.
Malmideaceae	<i>Malmidea</i>	<i>rhodopis</i>
Pannariaceae	<i>Pannaria</i>	<i>andina</i>
	<i>Pannaria</i>	sp.
	<i>Parmeliella</i>	sp.
Parmeliaceae	<i>Hypotrachyna</i>	sp.
	<i>Usnea</i>	sp.
	<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>
	<i>Parmotrema</i>	<i>permutatum</i>
	<i>Parmotrema</i>	<i>subsumptum</i>
	<i>Parmotrema</i>	sp.
	<i>Punctelia</i>	sp.
Pertusariaceae	<i>Ochrolechia</i>	sp.
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	sp.
	<i>Heterodermia</i>	<i>japonica</i>
	<i>Heterodermia</i>	<i>leucomela</i>
	<i>Heterodermia</i>	<i>podocarpa</i>
	<i>Physcia</i>	sp.
	<i>Pyxine</i>	sp.
Pyrenulaceae	<i>Pyrenula</i>	sp.
Ramalinaceae	<i>Lopezaria</i>	<i>versicolor</i>
	<i>Phyllopsora</i>	<i>breviuscula</i>
	<i>Phyllopsora</i>	<i>cf. nigrocincta</i>
	<i>Phyllopsora</i>	sp.
	<i>Ramalina</i>	sp.
Rocellaceae	<i>Chiodecton</i>	sp.
Stereocaulaceae	<i>Lepraria</i>	sp.
Teloschistaceae	<i>Teloschistes</i>	sp.
Verrucariaceae	<i>Normandina</i>	<i>pulchella</i>

Fuente: (Cantor y Urbano, 2002; Soto-Medina et al. 2014)

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Descripción de los Líquenes

Los líquenes a lo largo de la historia evolutiva de las plantas han sido catalogados como unas especies criptógamas de gran relevancia ecológica, ambiental y social, y de ello constituyen numerosos conceptos y utilidades para el ser humano y para la relación con el ecosistema (Bold, *et al.* 1989). Son considerados como una asociación simbiótica autosuficiente de un hongo (micobionte) y un alga (fotobionte) y presenta un comportamiento como entidad única e independiente, aunque, presenta características tanto de alga como de hongo, que crecen juntos para formar el cuerpo de una planta de aspecto y estructura reconocibles (Bold, *et al.* 1989). Mientras tanto, otros autores utilizan el término en un sentido más restringido al referirse que “los líquenes no son organismos individuales sino asociaciones mutualistas entre hongos (ascomicetes y basidiomicetes) y algas (cianobacterias), que pueden funcionar en la naturaleza como una unidad”. (Hawksworth *et al.* 2005).

6.2. Tipos de talo

6.2.1. Según su hábito y morfología

Los líquenes exhiben una amplia variedad morfológica que se extiende desde los tipos rudimentarios hasta los altamente diferenciados; se conocen como formas de crecimiento y representan adaptaciones al medio (Chaparro y Aguirre, 2002). Estas formas, típicamente los tejidos del hongo rodean al alga (o cianobacterias) fotosintética, y es la relación entre esta pareja lo que determina el tipo de desarrollo: en forma de costra (crustáceo), en forma de hoja (foliáceo), o de diminuto arbusto (fruticoso), que son las más conocidas (Hawksworth *et al.* 2005).

6.2.1.1. Talos rudimentarios

Presenta una asociación mal establecida, es decir, en condiciones difíciles para que el hongo se liquenize, además, no producen fructificación, lo cual dificulta su determinación taxonómica (Imagen 1). Se desarrollan sobre varios sustratos como paredes, rocas, suelo, corteza y musgos (Chaparro y Aguirre, 2002).



Imagen 1: Liquen rudimentario *Candelariella aurella*
Fuente: Liquenportal.org

6.2.1.2. Talos filamentosos

La morfogénesis está dada por el fotobionte. Éste se encuentra rodeado por el hongo a manera de red, poseen apariencia de pelo. Chaparro y Aguirre, 2002). El género más común en *Coenogonium* (Imagen 2).



Imagen 2: Liquen filamentoso *Coenogonium linkii*
Fuente: (Lücking & Chávez, 2009)

6.2.1.3. Talos gelatinosos

Se caracterizan por tener consistencia gelatinosa en estado húmedo, con un alto grado de hidratación y deshidratación alternativa. En estado seco se presentan como gránulos negros y pueden absorben hasta 30 veces su peso en agua y su coloración, en estado húmedo va de verde hasta gamas de gris. Anatómicamente son homómeros. (Chaparro y Aguirre, 2002) (Imagen 3).



Imagen 3: Liquen gelatinoso *Leptogium phyllocarpum*

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.1.4. Talos crustáceos

Las formas crustáceas, son fuertemente adheridas al sustrato, presentan aspecto de costra, viven sobre el tronco de los árboles o rocas (Imagen 4); carecen de córtex inferior, su crecimiento es marginal, anatómicamente son homómeros, las hifas excretan sustancias liquénicas que alteran el sustrato, colonizan los medios más extremos, es decir son cosmopolitas (Chaparro y Aguirre, 2002). En este caso el hongo predomina en la morfogénesis del liquen (estructura simple), siendo, un ejemplo extremo de este tipo, cuando se crecen dentro del sustrato (madera o roca) y muchas veces su presencia no se detecta, sino cuando fructifica (Chaparro y Aguirre, 2002; Méndez y Vallejo, 2003).



Imagen 4: Líquen crustáceo *Haematomma flexuosum*

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.1.5. Talos foliosos

Las formas foliáceas, tienen forma laminar similar a la de una hoja, formados por lóbulos aplanados con simetría dorsiventral, cara inferior diferenciada, están adheridos parcialmente al sustrato por un conjunto de rizinas, que captan agua del sustrato y atmósfera (Imagen 5). Son heterómeros y ocasionalmente homómeros, con o sin corteza inferior y presentan crecimiento marginal (Chaparro y Aguirre, 2002). Se diferencian de dos tipos:

Líquenes laciniados: Se encuentran adheridos al sustrato en casi toda su extensión por medio de sus estructuras de fijación que les permite su separación con mayor o menor grado de dificultad. Se encuentran en este grupo lo líquenes de mayor tamaño, que presentan amplia variabilidad en coloración, forma, consistencia y lobulación. (Chaparro & Aguirre, 2002; Méndez y Vallejo, 2003).

Líquenes umbilicados: Presentan forma de disco y se adhieren al sustrato solamente por la parte central, por una estructura que tiene forma de ombligo, de allí su nombre (Chaparro & Aguirre, 2002; Méndez y Vallejo, 2003).



Imagen 5: Liquen folioso *Sticta subfilicinella*

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.1.6. Talos fruticosos

La forma de desarrollo fruticoso, son un pequeño arbusto, están fijados al sustrato mediante disco de fijación, sobre salen mucho del sustrato, pueden ser erectos o colgantes (Imagen 6). Son heterómeros con simetría radial, macizos o huecos (talo cilíndrico) o heterómeros con simetría dorsiventral (talo aplanado) y dependen de humedad relativa del aire para hidratación (Chaparro y Aguirre, 2002).



Imagen 6: Liquen fruticoso *Ramalina celastri*

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.1.7. Talos dimórficos

Este tipo de talo presenta dos caracteres, constituyéndose por un talo horizontal (primario) adherido al sustrato y otro talo vertical (secundario) que lleva los cuerpos fructíferos (Imagen 7). El talo horizontal puede ser crustáceo o folioso-escumuloso como *Cladonia* (Chaparro y Aguirre, 2002).



Imagen 7: Liquen dimórfico *Cladonia* sp.

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.1.8. Talos escumulosos

Formados por un conjunto de muchas y pequeñas escamas más o menos cercanas, contiguas o imbricadas, con un borde no adherido al sustrato con tendencia a formar una circunferencia (Chaparro y Aguirre, 2002) (Imagen 8).



Imagen 8: Liquen escumuloso *Parmeliella tritophylla*

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.2.2. Según su anatomía

6.2.2.1. Talo homómero

Se refiere a los líquenes que poseen talos simples o pocos diferenciados (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003).

6.2.2.2. Talo heterómero

Son aquellos que presentan anatomía estratificada y el ficobionte se encuentra localizado en un nivel determinado (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003).

6.3. Reproducción

6.3.1. Asexual

El tipo más simple son granos finos, llamados soledios o bien por isidios que son proyecciones en forma de dedo o coral, los cuales se desprenden ya sea por acción de los insectos, agua, viento y otros; y es llevado a otros sitios donde las condiciones de temperatura, humedad, luminosidad y sustrato son idóneas para que comience a crecer otro talo líquénico (Chaparro y Aguirre, 2002).

Los soledios e isidios llevan tanto al alga como al hongo, es la forma de reproducción más ventajosa e importante para los líquenes, permitiendo colonizar sitios que otros organismos no podrían hacerlo (Chaparro y Aguirre, 2002).

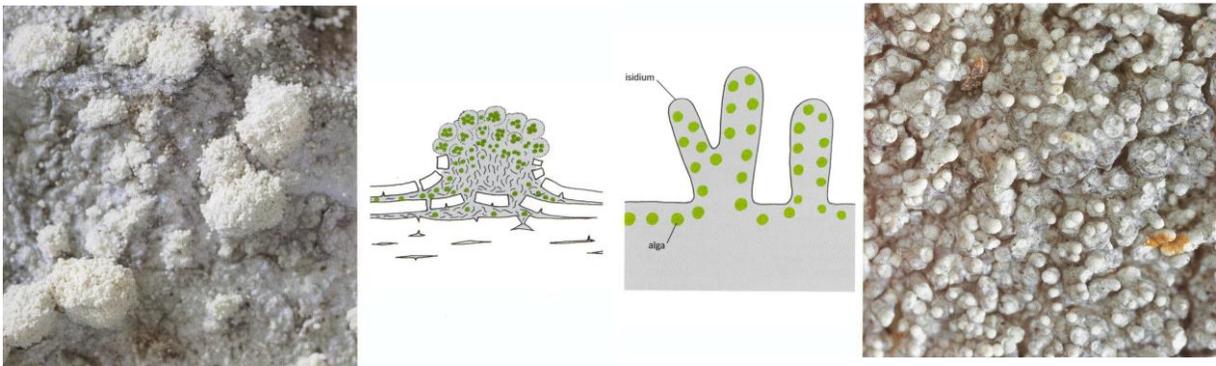


Imagen 9: Reproducción asexual, Soledio e Isidio
Fuente: Purvis (2000)

6.3.2. Sexual

Está a cargo del hongo (micobionte), que desarrolla esporas. Los ascomas o ascocarpos varía en su anatomía y morfología, son perennes y se pueden distinguir a

simple vista. Además, son estructuras relativamente longevas y producen ascos cada año, la producción es continua hasta que se agotan las hifas ascógenas Pueden ser sésiles, más o menos hundidos o estipitados (Chaparro y Aguirre, 2002).

Son características morfológicas esenciales el tamaño, la forma y el color; los tipos más frecuentes son: Apotecios, peritecios e Histerotecios (lirelas). (Chaparro y Aguirre, 2002). Los apotecios son estructuras con forma de disco abierto y se presentan sobre el talo, mientras que los peritecios se hunden en él y liberan las esporas; las lirelas son de forma largada y se asemejan a signos de escritura antigua (Imagen 10). Muchos líquenes logran arrastrar consigo algunas células asegurando así la formación de un nuevo líquen (Chaparro y Aguirre, 2002).



Imagen 10: Reproducción sexual, apotecios, peritecios y lirelas
Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.4. Características de la simbiosis

El hongo protege al alga de la desecación y el calor solar, además, le proporciona al ficobionte gas carbónico de su respiración, le retiene agua en sus tejidos, extrae minerales del sustrato y en la mayoría de los casos da forma al líquen (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003). De igual manera, es el que se reproduce sexualmente, aloja al alga de forma adecuadamente. Por su parte, el alga sintetiza un exceso de compuestos orgánicos, los cuáles son utilizados por el micobionte para su supervivencia y suministra sustancias nitrogenadas, ya que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003).

6.5. Crecimiento liquénico

El crecimiento de los líquenes es muy lento, debido a las condiciones ambientales y a la naturaleza genética de cada simbiote. Ambos simbioses, en condiciones de cultivo, muestran mayor tasa de crecimiento que las de organismos de vida libre. Los talos jóvenes crecen más rápidamente que los viejos, los crustáceos y foliosos tienen mayor crecimiento en los bordes, que corresponde a las zonas jóvenes, por su parte, los fruticosos el crecimiento es intercalar y apical. (Chaparro & Aguirre, 2002). Estimar la

edad de un líquen con precisión es complicado porque sus tasas de crecimiento nos son constantes y sus patrones de crecimiento están influenciadas por las condiciones microclimáticas locales (Ahmadjian, 1996).

6.6. Ciclo de vida de un líquen

Los líquenes son organismos muy longevos, en ocasiones alcanzan varios miles de años. En los epífitos la edad que alcanzan está limitada por la que puede adquirir el árbol donde se asientan, que normalmente es mucho mayor, por otro lado, en árboles viejos recién caídos o talados, se aprecia que su poblamiento permanece en perfecto estado (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003).

Otros factores como el fuego y la contaminación afectan al cambio poblacional, por lo que han sido tratados como bioindicadores de contaminación atmosférica (Aguirre y Valencia, 1995; Méndez y Vallejo, 2003).

6.7. Ecología de los Líquenes

La naturaleza del sustrato determina la distribución y crecimiento de los líquenes (Durán, 1997). Se puede afirmar que crecen sobre cualquier superficie bien iluminada, como las rocas, las cortezas de los árboles o el suelo. Aunque no son exigentes con la humedad y la temperatura, sí son muy específicos del sustrato en cual se desarrollan (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Los líquenes que crecen sobre los árboles no son los mismos que viven sobre las rocas y aún son distintos aquellos que crecen sobre rocas silíceas o sobre rocas calcáreas.

Los líquenes son organismos de gran importancia en procesos de sucesión vegetal, puesto que son considerados como pioneros en la colonización en sitios desprovistos de vegetación, y cumplen funciones ecológicas muy particulares dentro de los ecosistemas, como la formación de suelo, que sirve de sustrato para el arraigo de vegetales como musgos y plantas vasculares pequeñas (Hawksworth *et al.* 2005).

6.8. Bioindicación

Un organismo bioindicador es aquel manifiesta síntomas particulares en respuesta a cambios medioambientales, generalmente de manera cuantitativa, como también pueden ser organismos bioacumuladores, donde acumulan sustancias particulares dentro de sus tejidos, cuyas concentraciones se determinan mediante métodos químicos (Hawksworth *et al.* 2005). Un buen indicador debe cumplir con una serie de condiciones básicas: ciclo de vida largo, amplia distribución para no afectar o poner en peligro de extinción a la especie y obtener de una forma relativamente fácil el número de muestras requeridas para lograr representatividad estadística y que la biología de la especie bioindicadora sea lo suficientemente conocida para que aporte la información requerida, ya sea comportamiento, nivel trófico, hábitos alimenticios y reproductivos, preferencia por hábitats así como procesos fisiológicos (Cantor y Urbano, 2002).

Los líquenes tienen un papel importante como bioindicadores de lectura inmediata de la contaminación medioambiental, de los cambios climáticos y de la estabilización del suelo. Las ventajas que poseen los líquenes para ser utilizados como bioindicadores de lectura inmediata en los trópicos, se basan en que los trabajos pueden ser realizados sin la identificación total de las especies involucradas, y en el hecho de que son perennes y fácilmente discernibles a simple vista o con la ayuda de una lupa de campo (Hawksworth *et al.* 2005).

6.9. Relaciones con el sustrato

No hay duda, de que la mayor parte de los líquenes muestran preferencias por ciertos sustratos, lo que puede indicar que existen relaciones entre ambos (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Los líquenes epífitos son un gran componente biológico que aporta en gran magnitud a la diversidad de los ecosistemas. Estudios hechos en relación de la distribución de líquenes en conjunto con briófitos a lo largo de un gradiente altitudinal en Colombia (Sipman, 1989; Wolf, 1993; Kessler 2000; Pérez & Watteijne, 2009), han mostrado diferencias en la composición y diversidad de líquenes asociadas a la altura y por ende el sustrato (Pérez & Watteijne, 2009), como también, en diferentes tipos de bosque en Colombia, se observó correlaciones de formación de comunidades líquénicas con parámetros del sustrato (tales como tipo de corteza, pH) y contenido de nutrientes (Soto-Medina *et al.* 2012). Los sustratos influyen sobre su comportamiento, según la textura física y la estabilidad, como también, del pH y la capacidad de retención de agua que ofrecen para su establecimiento, (Chaparro & Aguirre, 2002), además, de la textura (cortezas suaves, lisas, finas, duras) y la combinación de elementos fundamentalmente la reacción iónica, determinan la selección entre las especies disponibles. (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Las cortezas de las plantas leñosas son el sustrato principal de estos organismos, siendo un factor discriminante en la colonización del medio. La distribución está tiene mucho que ver con el grado de especificidad que muestra con el sustrato, puesto que, las especies que colonizan sustratos específicos, presentan un radio de distribución más limitado, a las especies que colonizan sustratos indiferenciados (Chaparro & Aguirre, 2002).

6.10. Relaciones hídricas

Los líquenes difieren de las plantas superiores en que actúan pasivamente de acuerdo a las fluctuaciones de la humedad atmosférica, por tanto son poiquilohídricos. Por su parte, el agua es un factor limitante en la distribución de los líquenes, al interactuar con la luz e influir directamente sobre funciones vitales y punto de compensación de los talos, (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). No poseen órganos específicos para la absorción o transpiración del agua y ella se lleva a cabo a través de la superficie del talo. En cuanto, a las formas de desarrollo, muchas especies crustáceas e incluso foliáceas dependen del vapor de agua de la atmósfera y humedad relativa del aire para hidratarse, a diferencia de los crustáceos que dependen de la gran capacidad de los sustratos para retener el agua o condensarla. (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Los

periodos de disponibilidad de agua generalmente son cortos y la habilidad que tienen para su retención depende de las características morfológico-anatómicas del líquen. En periodos secos absorben agua de la atmósfera durante la noche, la cual es suficiente para permitirles vivir en sitios áridos y desfavorables para el crecimiento de otras plantas, (Blum, 1973).

6.11. Relaciones con la temperatura

Los líquenes son capaces de resistir temperaturas y ambientes muy extremos, como periodos de frío intenso o desecación completa (Chaparro & Aguirre, 2002), debido que presentan una fisiología que los hace capaz de adaptarse a variaciones y fluctuaciones naturales de clima, permitiéndoles sobrevivir en estado latente en épocas de intensa radiación, por medio de la fotoinhibición, y ganar materia en la épocas con luz, temperatura y humedad más favorable, (Barreno & Pérez-Ortega, 2003). Al igual, este factor es determinante en la distribución de los líquenes, puesto que influye decisivamente en el metabolismo de estos organismos, al presentar rangos de tolerancia muy distintos en diversos ambientes.

6.12. Relaciones con la luz

Estas relaciones son de gran importancia, como factor ecológico decisivo para asegurar el crecimiento de los talos simbióticos, puesto que al definirse como organismos bastante fotófitos (Barreno & Pérez-Ortega, 2003) conllevan que ciertos ambientes sean favorables o no para su desarrollo. La intensidad de luz que recibe las distintas partes de un árbol y la situación de este en el bosque determinan diferentes ambientes fóticos, como son los heliófitos para copas y márgenes, y esciófitos o nemorales para el interior de los bosques y en la zona inferior de los troncos (Barreno & Pérez-Ortega, 2003) siendo, la iluminación de un hábitat dependerá si proviene de la luz directa del sol o de la luz reflejada o difusa, así como también, de la inclinación y orientación de las superficies.

La alta diversidad de líquenes costrosos se debe principalmente, a las adaptaciones fisiológicas que presentan estos organismos ante las altas concentraciones de humedad y baja intensidad lumínica, condiciones propias de los sotobosques muestreados (Lakatos *et al.* 2006). Aunque la luz no tiene ningún efecto aparente sobre la descarga de ascosporas, en la mayoría de los líquenes, en la periodicidad diurna se ha observado, que algunas especies tienden a aumentar la descarga en condiciones de luz (Nash, 2008).

El éxito de la germinación y el establecimiento de los diversos tipos de propágulos en los líquenes dependen no sólo de las características del sustrato disponible (por ejemplo, textura, pH, estado de los nutrientes), sino también otros numerosos factores ambientales, como la humedad, la temperatura y la luz (Brodo 1973; Chaparro & Aguirre, 2002; Gatica *et al.* 2005). Además, la competencia con los líquenes y otros organismos establecidos para el espacio, la luz y los nutrientes por parte de la de

propágulos de reciente desarrollo puede ser considerable; tal competencia puede surgir como consecuencia de la acción mecánica, la inhibición de intercambio gaseoso, la reducción en la intensidad de la luz, o productos químicos alelopáticos o tóxicos.

6.13. Caracterización microclimática

Los líquenes epífitos son particularmente sensibles a los cambios climáticos (Nash, Olafsen, 1995; Rivas-Plata *et al.* 2008; Soto-Medina *et al.* 2012) y los factores que mayor influencia tienen son los factores abióticos fundamentalmente la luz, la humedad y la temperatura (De los Ríos, 2003), como también el sustrato. Por otro lado, los factores bióticos como vegetales, animales y el hombre influyen sobre el hábitat y modifican las condiciones físico-químicas (Barreno & Pérez-Ortega, 2003) involucradas en el crecimiento y distribución de los líquenes.

Los líquenes están fuertemente influenciados tanto por variables macro como microambientales, que afectan a su riqueza, abundancia y distribución a diferentes escalas (McCune *et al.* 2002) condicionando las respuestas de las comunidades líquénicas que viven en el medio, como lo afirma Barreno & Pérez-Ortega (2003), donde en bosques naturales bien estructurados, la temperatura, las cantidades de luz o de agua que llegan son muy distintas para los árboles de la periferia que para los del interior, independiente del clima en general.

En situaciones concretas el macroclima, pierde su cierto valor restrictivo, y esa ahí donde se debe enfocar más en las condiciones microclimáticas, puesto que pequeñas modificaciones en la heterogeneidad del sustrato y por consiguiente del clima en un área limitada, puede conllevar un cambio importante en la composición de la flora líquénica o aparición de especies raras o vulnerables (Barreno & Pérez-Ortega, 2003), siendo así, que a nivel regional, son las variables orográficas y climáticas las que condicionan la composición de especies (Hauck & Spribille 2005; Soto-Medina *et al.* 2012), por su parte, a nivel local, son las variables microclimáticas, relacionadas con la estructura del bosque como la edad y el tipo de árbol o la cobertura del dosel, las que van a condicionar las comunidades (Aragón *et al.* 2010; Soto-Medina *et al.* 2012).

6.14. Descripción de la unidad de muestreo *Cecropia angustifolia* Trécul

6.14.1. Descripción general

Árboles dioicos de tallos delgados y oscuros poco ramificados y de copa rala, con aproximadamente 15 m de altura y 25 cm de diámetro; ramas huecas y anilladas comúnmente habitadas por hormigas. Hojas digitadas lobuladas con estípulas terminales de 16 cm de largo y pecíolo entre 50-80 cm de longitud. Lámina con 11-13 lóbulos, ápice redondeado, borde entero, consistencia papirácea y base peltada; nerviación palmeada con 11-13 nervios principales; haz verde oscuro, escamoso y áspero, envés muy reticulado y con pubescencia dispersa. Presenta un único tallo

principal, recto y cilíndrico, con cicatrices anulares, que se ramifica en la parte superior. Inflorescencias en racimos de amentos cilíndricos y amarillentos en flor, de aproximadamente 12 cm de largo. Flores diminutas unisexuales y fruto múltiple carnoso (Imagen 11) (UCO, 2008).

El Yarumo negro como es conocido comúnmente, se distribuye en América tropical entre los 950 y 2800 msnm y específicamente en Colombia en las regiones biogeográficas de Amazonía, Andes, Guayana y Serranía de la Macarena, Orinoquía y Pacífico, comprendiendo los Departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Chocó, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle (Bernal *et al.* 2015). Es común en crecimientos secundarios y bordes de quebradas. Es considerada pionera en sitios abiertos y degradados. (Vargas, 2002).



Imagen 11: Árbol de *Cecropia angustifolia*
Fuente: Luis Gerardo Chilito López

6.15. Pruebas estadísticas

6.15.1. Índice de Shannon

Basado en los tres componentes de la estructura de la comunidad, a saber: riqueza, uniformidad y abundancia. Es el índice más conocido y usado universalmente. Esta refleja que tan uniformes están representadas las especies (abundancia), teniendo en cuenta todas las especies muestreadas (Moreno, 2001).

Ecuación Índice de Diversidad

$$H' \equiv \sum \left(\frac{ni}{N} \right) \text{Ln} \left(\frac{ni}{N} \right)$$

Dónde:

NI: Número de Individuos por género.

N: Número total de Individuos.

Ln: Logaritmo natural.

El resultado de la aplicación de esta ecuación se confronta con los siguientes valores de diversidad: 0.0-1.5 baja diversidad; 1.6-3.0 mediana diversidad y de 3.1-5.0 alta diversidad (Shannon & Weaver, 1949).

6.15.2. Índice de Simpson

Estos índices de dominancia se basan en parámetros inversos a los conceptos de equidad puesto que toman en cuenta la dominancia de las especies con mayor representatividad (Moreno, 2001; Vargas, 2014). A medida que el índice se incrementa, la diversidad decrece. Por ello el Índice de Simpson se presenta habitualmente como una medida de la dominancia.

El rango de medición de este índice va de 0 a 1, entonces entre más aumente el valor a uno, la diversidad disminuye. (Pielou 1969; Orellana Lara, 2009).

$$D = \sum pi * pi$$

Dónde:

pi = abundancia proporcional de la especie i, ($pi = ni / N$). Lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i "ni", dividido entre el número total de individuos de la muestra "N", (Moreno, 2001; Vargas, 2014).

6.15.3. Frecuencia

La Frecuencia (F) se refiere a la uniformidad o regularidad con las que las plantas de una especie se distribuyen de una parcela o en este caso unidad de muestreo (Rangel *et al.* 1999; Méndez y Vallejo, 2003).

6.15.4. Cobertura

Porcentaje de ocupación de cada especie en la plantilla. Se evaluó de acuerdo de cuadros que ocupe la especie, sabiendo que cada cuadro es cuatro por ciento y el total de cuadros es 4000.

6.15.5. Similitud

El índice de Bray–Curtis que se considera como una medida de la diferencia entre las abundancias de cada especie presente (Bray y Curtis, 1957; Brower y Zar, 1984), y se expresa mediante:

$$I_{BC} = 1 - \frac{\sum (x_i - y_i)}{\sum (x_i + y_i)}$$

Donde:

x_i = abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1

y_i = abundancia de las especies en el otro.

6.15.6. Análisis de Correlación de Spearman

La correlación de Spearman (Rho) es una medida de relación lineal entre dos variables. Se diferencia de la correlación de Pearson en que utiliza valores medidos a nivel de una escala ordinal. Se emplea cuando una o ambas escalas de medidas de las variables son ordinales, es decir, cuando una o ambas escalas de medida son posiciones; este coeficiente de correlación oscila entre -1 y $+1$, el valor 0 que indica que no existe asociación lineal entre las dos variables en estudio (Martínez *et al.* 2009). De este modo, se presentan varias escalas para su interpretación:

Tabla 2: Escala correlación de Spearman

Interpretación	Coficiente
Correlación negativa perfecta	-1
Correlación negativa fuerte moderada débil	-0,5
Ninguna correlación	0
Correlación positiva moderada Fuerte	0,5
Correlación positiva perfecta	1

Fuente: (Martínez *et al.* 2009)

La interpretación del coeficiente Rho de Spearman concuerda en valores próximos a 1 ; indican una correlación fuerte y positiva; valores próximos a -1 indican una correlación

fuerte y negativa; valores próximos a cero indican que no hay correlación lineal (Tabla 2); de igual forma, puede que exista otro tipo de correlación, pero no lineal. (Martínez *et al.* 2009). Los signos positivos o negativos solo indican la dirección de la relación; un signo negativo indica que una variable aumenta a medida que la otra disminuye o viceversa, y uno positivo que una variable aumenta conforme la otra también lo haga; disminuye, si la otra también lo hace (Martínez *et al.* 2009).

6.15.7. Escalamiento No Métrico Multidimensional - NMS

El Escalamiento No Métrico Multidimensional, propuesto por Shepard (1962) y redefinido por Kruskal (1964), es un método de ordenación muy adecuado para los datos que son no normal o están en escalas preguntas arbitrarias, discontinuos, o de otro tipo, por esta razón, NMS, probablemente se debe utilizar en la ecología más a menudo de lo que es. Este método puede ser utilizado tanto como una técnica de ordenación y como un método para evaluar la dimensionalidad de un conjunto de datos. (McCune *et al.* 2002). La técnica es cada vez más utilizada en ecología de comunidades y actualmente es una de las técnicas más defendibles durante la revisión por pares, además, de que es el método de ordenación generalmente más eficaz para los datos comunidades ecológicas y debe ser el método de elección, a menos que un objetivo analítico específico exige otro método (McCune *et al.* 2002)

6.15.8. Análisis de especies indicadoras - IV

El método combina información sobre la concentración de la abundancia de especies en un grupo en particular y la fidelidad de ocurrencia de una especie en un determinado grupo, se puede utilizar en cualquier momento que deseen contrastar el rendimiento de las especies individuales a través de dos o más grupos de unidades de muestra (McCune *et al.* 2002). El método es aplicable únicamente a los datos de las especies, porque es que basado en los conceptos de abundancia y frecuencia (concentración de abundancia en determinados grupos y frecuencia relativa dentro del grupo), además, algunas aplicaciones comunes son: describe las relaciones especies a categorías ambientales o grupos experimentales, describe la estructura jerárquica de las comunidades, elige el número óptimo de clúster, describe los tipos de comunidades y ordena las especies por en los ejes definidos por las variables categóricas (McCune *et al.* 2002).

7. ANTECEDENTES

Entre las investigaciones relacionadas con el estudio se presenta un listado preliminar de líquenes del Jardín Botánico De Popayán, compilado en una guía rápida a color, en el marco del Primer Curso- Taller de Introducción a la Ecología y Taxonomía de Líquenes, dictado por Edier Soto Medina y desarrollado en el año 2013.

Además, se presentan trabajos de grado del Programa de Ecología, en la misma área de estudio, como: la tesis de grado desarrollada en el año 2002 por Cantor y Urbano, donde se realizó un estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán, teniendo como punto de comparación el Jardín Botánico de la Fundación Universitaria de Popayán, sede Los Robles, determinando zonas de isocontaminación e identificando especies de líquenes indicadoras de sitios limpios y contaminados, además, de un listado de especies registrado para el Jardín Botánico de Popayán.

Trabajo de pregrado desarrollada por Vallejo y Méndez en el año 2003, en el Jardín Botánico de Popayán, en un Evaluación de la presencia o ausencia de líquenes foliosos corticícolas en dos especies de forófitos *Pinus oocarpa* y *Heliocarpus popayanensis*, el cual registro un listado de especies y dan gran importancia a la humedad ambiental como factor determinante para la distribución y colonización de estos organismos en el área de estudio.

Igualmente, otros trabajos relevantes enfocados en temáticas de bioindicación, composición, diversidad, taxonomía, ecología, variables medioambientales y climáticas en el ámbito nacional e internacional en trabajos realizados por Soto-Medina, Lücking y Bolaños-Rojas en 2012, donde evaluaron la especificidad de forófito y las preferencias microambientales de los líquenes corticícolas en el Bosque de la Finca Zingara - Cali, Colombia, mostrando como resultado que hay una agrupación de algunos individuos están relacionados con factores de intensidad de luz, temperatura y DAP, sugiriendo ausencia de preferencias de forófito.

Rincón, Aguirre y Lücking en el año 2011, realizaron un trabajo sobre composición de la flora líquénica corticícola del Caribe Colombiano, del cual se obtuvieron 115 registros nuevos para Colombia, en especial para el área de estudio.

Gatica, Pereira y Vallejos en el año 2011, realizaron la investigación sobre líquenes epífitos como herramienta para estudiar la continuidad ecológica en la Reserva Nacional Isla Mocha, mediante el conocimiento de la riqueza y frecuencia de líquenes epífitos, proponiendo un nuevo índice de continuidad ecológica mediante cianolíquenes (ICEC) para conocer el grado de alteración de este ecosistema natural. Como resultado se encontró una relación estadísticamente significativa entre cianolíquenes y el volumen fustal, indicando preferencia de este tipo de líquenes por zonas boscosas con un gran

volumen fustal, como también se definió a la Reserva Nacional Isla Mocha como un ecosistema alterado, basados en el índice propuesto.

Sipman, Hekking y Aguirre en el año 2008, realizaron un trabajo el cuál, el propósito fue el de verificar el listado de hongos liquenizados y liquenícolas reportados para Colombia “Checklist of lichenized and lichenicolous fungi from Colombia”, publicado en el Instituto Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia

Cáceres y Lücking en 2007, desarrollaron un estudio en la selva tropical del Atlántico del nordeste de Brasil para determinar los efectos de la especificidad forófito y parámetros ambientales frente a estocasticidad en la estructura de las comunidades, de microlíquenes crustosos corticícolas.

Moncada y Forero en 2006, realizaron un estudio, donde se reconocieron seis especies del género *Pseudocyphellaria* [*P. aurata* (Ach.) Vain., *P. crocata* (L.) Vain., *P. intricata* (Del.) Vain., *P. arvidssonii* D. Galloway, *P. clathrata* (De Not.) Malme, y *P. encoensis* R. Sant.], de las cuales, *P. arvidssonii*, *P. clathrata* y *P. encoensis*, constituyendo nuevos registros para el país, presentando descripciones morfoanatómicas, complementadas con test químicos y cromatografía, además de comentarios sobre datos ecológicos y de distribución geográfica.

Barreno y Pérez-Ortega en al año 2003, realizaron una caracterización de la flora líquénica de la Reserva Natural Integral de Muniellos, España, y dan a conocer la influencia de factores ecológicos, entre abióticos como la luz, el clima, el pH, el sustrato, el agua, la temperatura, textura de las cortezas y el viento, y factores bióticos como interrelaciones ecológicas en el ciclo de vida, de los líquenes,

De los Ríos en 2003, realizó un estudio que ha permitido comprender mejor el funcionamiento de la simbiosis líquénica en condiciones naturales, y como el desarrollo de los talos líquénicos está influenciado por condiciones microclimáticas y por el sustrato donde se asientan, en la región mediterránea de España.

Souza & García en el año 2001, realizó una descripción de las condiciones microclimáticas en dos comunidades líquénicas del Sureste semiárido de la Península Ibérica, por medio de mediciones con sensores de temperatura, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y humedad relativa.

Lücking en 1999, realizó una investigación en una estación biológica en Costa Rica, donde incluyó un inventario completo, incluyendo el dosel, de líquenes folícolas en un bosque tropical muy húmedo que permitiera aumentar el conocimiento de la biodiversidad que existe en La Selva y estudiar la distribución de líquenes folícolas en diferentes microsítios dentro del bosque primario, así como en tipos de vegetación con diferentes grados de perturbación, para establecer similitudes y diferencias en la composición de especies y la formación de comunidades entre un bosque muy húmedo

y un bosque pluvial premontano pertenecientes al mismo ecosistema, el Parque Nacional Braulio Carrillo de dicho país.

Lücking en el año de 1998, realizó una investigación en un bosque lluvioso tropical en Costa Rica, basado en patrones de diversidad, cobertura de área y la dependencia e influencia del microclima y las especies de forófitos, sobre la colonización de las especies de líquenes foliosos, donde se obtuvo como resultado que la colonización de forófitos por líquenes folícolas en el sotobosque sigue patrones más deterministas, mientras que en los claros de luz son más estocásticos.

8. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Las variables microclimáticas de luminosidad, temperatura y humedad relativa influyen de manera directa en la distribución de los líquenes en el Jardín Botánico de Popayán, estableciendo diferencias significativas en la riqueza entre las estaciones de muestreo.

9. METODOLOGÍA

Como se referenció anteriormente, el área de estudio del proyecto se encuentra en la Fundación Universitaria de Popayán, Campus los Robles, que está ubicado a 8 km. de la ciudad de Popayán, vía al Municipio de Timbío, en el Departamento del Cauca.

9.1. Recolección de la información

Se basó en una extensa revisión bibliográfica de documentos, publicaciones y trabajos relacionados, donde las distintas metodologías plantean análisis de acuerdo a resultados obtenidos de las mediciones en campo de parámetros ambientales con instrumentos de medición de alta gama, sin embargo, para este caso se adaptó esa propuesta con los equipos que estén disponibles. Se empleó esta metodología, porque es la más reciente en estudios realizados por Soto-Medina *et al.* (2012) y Cáceres, *et al.* (2007) en estudios de preferencia de forófitos y su distribución.

9.2. Premuestreo

Se trabajó una etapa de premuestreo de tres semanas en el mes de febrero, con el fin de evaluar los forófitos a escoger, así mismo, determinar el número de estaciones, su ubicación y su marcaje respectivo.

9.3. Unidad de muestreo y ubicación de estaciones

La unidad de muestreo fueron los forófitos y se seleccionaron cinco individuos de una misma especie de forófito *Cecropia angustifolia* Trécul, con representatividad en todas las estaciones de muestreo (Soto-Medina *et al.* (2012). Se trabajó con *Cecropia angustifolia*, por su amplia distribución en el Jardín Botánico de Popayán y por la gran

variedad y densidad de líquenes hospedados en este forófito, evidenciado por observación en campo.

Por su parte, la ubicación de las estaciones o micrositios de muestreo se hizo a criterio del investigador procurando ubicar sitios contrastantes, que admitieran gran cantidad de líquenes y generando así diferencias en las mediciones. De acuerdo al premuestreo se establecieron 11 estaciones en las distintas coberturas vegetales asociadas a la subcuencas del Jardín Botánico con un total de 55 forófitos de Yarumo (Mapa 2, Anexo 7), escogidos de la siguiente manera:

Micrositios Abiertos: Se consideran áreas despejadas o bosque abierto

Estación 1 – Arboretum

Estación 10 – Potrero

Estación 11 – Potrero

Micrositios Semiabiertos: Bordes del bosque semi denso

Estación 5 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Corazones

Estación 6 – área boscosa perteneciente a la Mano de oso

Estación 7 – área boscosa perteneciente a la Mano de oso

Micrositios Cerrados: coberturas de bosque denso

Estación 2 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Renacer

Estación 3 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Renacer

Estación 4 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Corazones

Estación 8 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Mano de oso

Estación 9 – área boscosa perteneciente a la Quebrada Mano de oso

9.4. Muestreo y técnica de recolección de datos

Las colectas se realizaron entre los meses de marzo y abril, y se trabajó con un método de muestreo cuantitativo, (Cáceres *et al.* 2007, 2008), donde en cada forófito, se ubicó un cuadrante de 0.50 x 0.20m² en el tronco, estimando el porcentaje de cobertura de cada especie en el cuadrante, de modo que la porción central coincida con la parte del tronco con máxima densidad de líquenes, a 1.3m de altura desde la base (Soto *et al.*, 2012), para evitar influencia del suelo y ramas. Los talos se colectaron con ayuda de una navaja en bolsas de papel.

Los parámetros microclimáticos se tomaron entre los meses de abril y mayo. En esta fase se midió la humedad relativa, la temperatura ambiente y luminosidad, con una intensidad de muestreo de tres mediciones a la semana (Soto-Medina *et al.* 2012), con el fin de recolectar la mayor cantidad de datos posible, para el análisis estadístico.

Además, se registró el diámetro a la altura del pecho, con forófitos como mínimo de 20 cm CAP y el pH de la corteza.

9.4.1. Parámetros microclimáticos

9.4.1.1. Luminosidad

Las mediciones de luz se hicieron con el equipo Densiómetro Esférico *Forestry Suppliers*, un instrumento para determinar la densidad forestal (Lemmon, 1957), Consta de una caja de madera pequeña, con nivel esférico de burbuja, un espejo convexo subdividido por una malla que consta de 24 cuadros, que al dividir imaginariamente cada cuadro en 4 se tendrá un número de 96 cuadros que significan un punto por cada cuarto del cuadrado. (Anexo 2). Las mediciones se realizaron ubicando el instrumento en los árboles de referencia a una altura de 1.3 metros (es variable) a nivel con la burbuja y se contaron los cuadros que estuvieron cubiertos por ramas o partes de ella. Se realizaron cuatro lecturas por posición en las direcciones norte, sur, este y oeste. Estos valores se registraron y se promediaron para obtener un solo valor; este valor se multiplicó por la constante 1,04. El cálculo por 1,04 recompensa lo que se pierde en la estimación producto de la reflectancia que se presenta en el espejo (Lemmon, 1957; Nascimbene y Marini, 2015).

9.4.1.2. Temperatura y Humedad Relativa

Las mediciones del Humedad Relativa y Temperatura se realizaron con el equipo Termohigrómetro Digital Portátil de bulbo *Brixco*, anotando los valores máximos y mínimos de cada variable, para al final sacar un promedio y registrar un solo valor. Estas mediciones se realizaron en la dirección donde se colectaron las muestras de especies de líquenes.

9.4.1.3. pH

Para la medición de pH se colectó las muestras de corteza del forófito y posteriormente se realizó la medición con un pHmetro de sólidos *Portable Waterproof Skin pH Meter*, con 3 mediciones por cada corteza y sacando un promedio al final para obtener un solo valor. Este promedio se hizo, porque las cortezas no son uniformes en su estructura y para generar resultados más precisos. Las mediciones se realizaron en el Herbario Luis Sigifredo Espinal Tascón - CUCV de la Universidad del Valle.

La Circunferencia a la altura del pecho (CAP), se tomó por medio de una cinta métrica, con forófitos con valores mayores a 20 cm. Posteriormente se convirtieron estos valores en Diámetro a la altura del pecho (DAP), por medio de la fórmula (Rangel Y Velásquez, 1997).

$$\text{DAP} = \text{CAP} / \pi$$

Para el levantamiento de la información se elaboró un formato, para anotar las distintas mediciones de parámetros ambientales, características del área y otros parámetros estructurales (Anexo 3).

9.5. Trabajo de laboratorio y descripción morfológica

Las muestras tomadas se recolectaron en bolsas de papel con su respectiva rotulación o etiquetado (número de colección, N° de parcela y fecha), para luego depositarlas en los sobres de colección y herborización final con su etiqueta. El registro visual del trabajo, se utilizó una cámara fotográfica *Sony Cyber-shot Optical SteadyShot DSC-H55*.

Los especímenes colectados se llevaron al Herbario Álvaro Fernández Pérez - HAFP, además de otras colecciones como los Herbarios de la Universidad del Valle - CUVC, Universidad de Caldas – FAUC. La identificación se llevó a cabo en el laboratorio de química de la Fundación Universitaria de Popayán, donde se describieron los caracteres morfológicos y anatómicos, para su identificación y caracterización, mediante el uso de literatura disponible, claves Sipman (2006), Lücking *et al.* (2009) y descripciones, fotografías y asesoría de expertos en el tema. Se tuvo en cuenta, tipo, forma, adherencia al sustrato del talo, presencia o ausencia de hifas y apotecios, color de la cara ventral del talo, presencia o ausencia de rizinas, presencia o ausencia de soredios en el apotecio, cífelas o pseudocífelas en la cara ventral, color y manchas o puntos en el liquen.

Los análisis químicos se basaron en pruebas de coloración, por medio del uso de reactivos químicos solución de KOH (Hidróxido de potasio), C (Hipoclorito de sodio), PD (parafenilenodiamina), generalmente en el talo para reconocer en algunos los metabolitos secundarios y la prueba I (solución yodada o lugol) para determinar el himenio, ascas y ascosporas y pruebas UV.

9.6. Análisis y sistematización de los datos

Para este análisis se empleó estadística descriptiva para evaluar los patrones de los datos registrados en el muestreo, tanto para las especies encontradas como para los parámetros ambientales y de sustrato medidos. La variable de respuesta fue la riqueza de especies o diversidad alfa y las variables predictoras fueron la luminosidad, temperatura, humedad relativa, pH y DAP.

9.6.1. Estadística descriptiva

Análisis que partieron de gráficos como histogramas, cajas esquemáticas y gráficos de dispersión para entender los patrones de los datos de las especies encontradas, parámetros microclimáticos y valores estadísticos (Díaz-Escandón *et al.* 2014).

9.6.1.1. Parámetros Ecológicos

9.6.1.1.1. Diversidad alfa

Diversidad de especies en un hábitat o comunidad a nivel local. Se evaluó con los índices de diversidad de Shannon-Weaver y de dominancia de Simpson.

9.6.1.1.2. Índice de diversidad: Shannon-Weaver

Se trabajó en base a toda la comunidad de líquenes, determinando la que tan diversa es el área del estudio trabajada, basado en la tabla resumen de cobertura y frecuencia (Anexo 5); tomando esta última como el número de individuos por especie (n_i) y el número total de especies (N).

9.6.1.1.3. Índice de dominancia: Simpson

Se tomó en cuenta el número de individuos por especie (n_i) y el número total de especies (N).

Por otro lado, se tomó en cuenta la diversidad como el número de especies presentes en cada forófito y estación de muestreo. Se evaluó sumando el número de especies por estación o unidad de muestreo y al final promediar cual presenta más especies, determinando la representatividad de las mismas (Anexo 5), (Gráfica 7 y 8).

9.6.1.1.4. Frecuencia

Para evaluar la Frecuencia (F) se tomó cada forófito como una unidad de muestreo y es igual al número de árboles en que aparece una especie. De este modo, este es un indicativo de que tan común o rara es una especie en el área de estudio, la presencia se indicó con el valor uno (1) y la ausencia con cero (0), y se obtiene sumando horizontalmente el número de veces en que se encuentran la especie en las unidades de muestreo.

9.6.1.1.5. Cobertura

Para el análisis de la cobertura, en cada forófito elegido, se usó la parcela (planilla de acetato), que tiene una dimensiones de 50 x 20 cm (1000 cm²), subdividida en 250 cuadros iguales de 2 x 2 cm (4cm²) (Soto-Medina *et al.* 2012). Esta plantilla se sitúa en la parte del tronco donde mayor densidad de líquenes, de aquí se hace una relación de porcentaje de cobertura de acuerdo a los cuadros ocupados por la cada especie.

9.6.1.1.6. Representatividad del estudio

Se realizó una curva de acumulación de especies, para evaluar la eficiencia del muestreo, siguiendo el estimador Jackknife de primer orden (Gotelli y Colwell, 2010).

9.6.1.1.7. Similitud

Se empleó un análisis de ordenación de conglomerados – Clúster, y mostró la afinidad presente entre las distintas estaciones o micrositios, mediante el índice de Sørensen (Bray-Curtis) determinando que tan similares o disímiles son las muestras de acuerdo a la composición de especies de líquenes.

9.6.2. Estadística Inferencial

9.6.2.1. Análisis de correlación de Spearman

Se evaluaron todas las variables dependientes como independientes en el programa estadístico, para mostrar que tan significativas son éstas de acuerdo a la riqueza de líquenes.

9.6.2.2. Escalamiento No Métrico Multidimensional - NMS

Se realizó usando el índice de Sørensen (Bray-Curtis), para para evaluar la relación entre las variables ambientales y los agrupamientos en el NMS, de acuerdo a la composición de líquenes (McCune *et al.* 2002). Este análisis generó un gráfico de dispersión de dos dimensiones que muestra los patrones de agrupamiento. Por otro lado, se hicieron correlaciones de Spearman de estos ejes con los parámetros climáticos, para determinar si estos estaban relacionados con los agrupamientos (Díaz-Escandón *et al.* 2014).

9.6.2.3. Análisis de especies indicadoras simulación de Monte Carlo

Se empleó para determinar las especies de líquenes con preferencias sobre alguna estación o micrositio se muestreo. Esta prueba mediante simulaciones de Monte Carlo con 4999 aleatorizaciones generó índices de valor de importancia (VI) que permitieron determinar las especies características de cada zona.

Los análisis estadísticos se efectuaron con los programas PC-ORD® 5.0 y Statsoft Statistica 7.0 (McCune *et al.* 2002).

10.RESULTADOS

10.1. Parámetros Ecológicos

10.1.1. Diversidad de líquenes

Se registró un total de 63 especies, de los cuales 39 se identificaron hasta especie, 21 hasta género (Anexo 6), 3 no fueron determinadas al estar estériles. (Gráfica 2).

10.1.1.1. Índice de Shannon-Weaver

$$H' \equiv \sum \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right)$$

$$H' = 3,5011$$

A partir de este valor y considerando los rangos establecidos que presenta el índice, donde que valores por encima de 3 puntos (Shannon y Weaver, 1949), se considera como diversa, la comunidad de líquenes del Jardín Botánico de Popayán (Anexo 9).

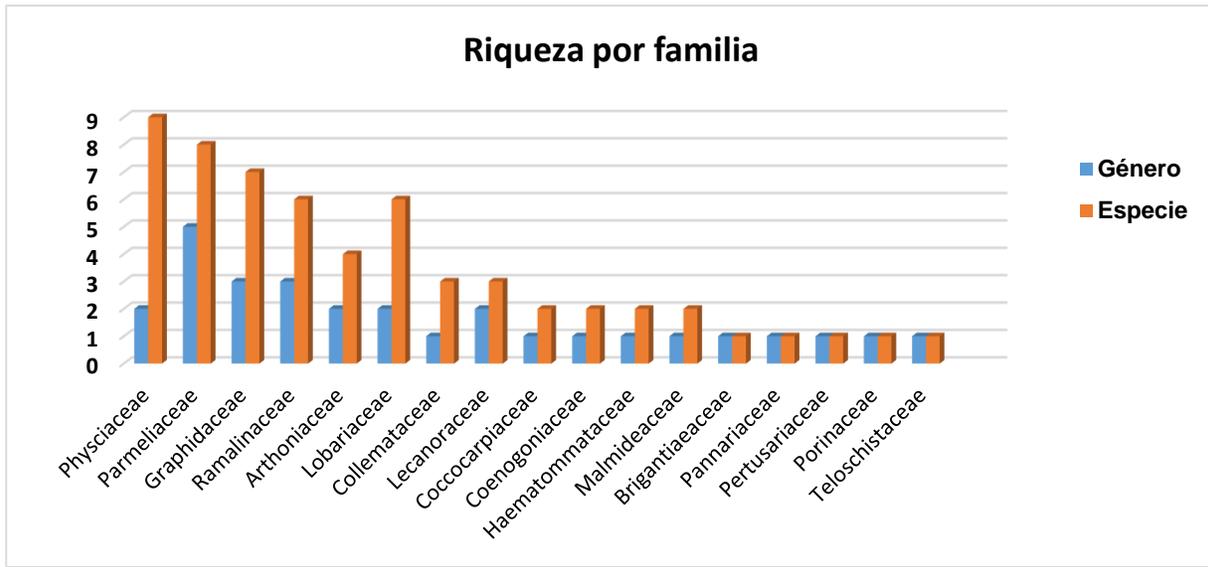
10.1.1.2. Índice de Simpson

$$D = \sum pi * pi$$

$$D = 0,04390$$

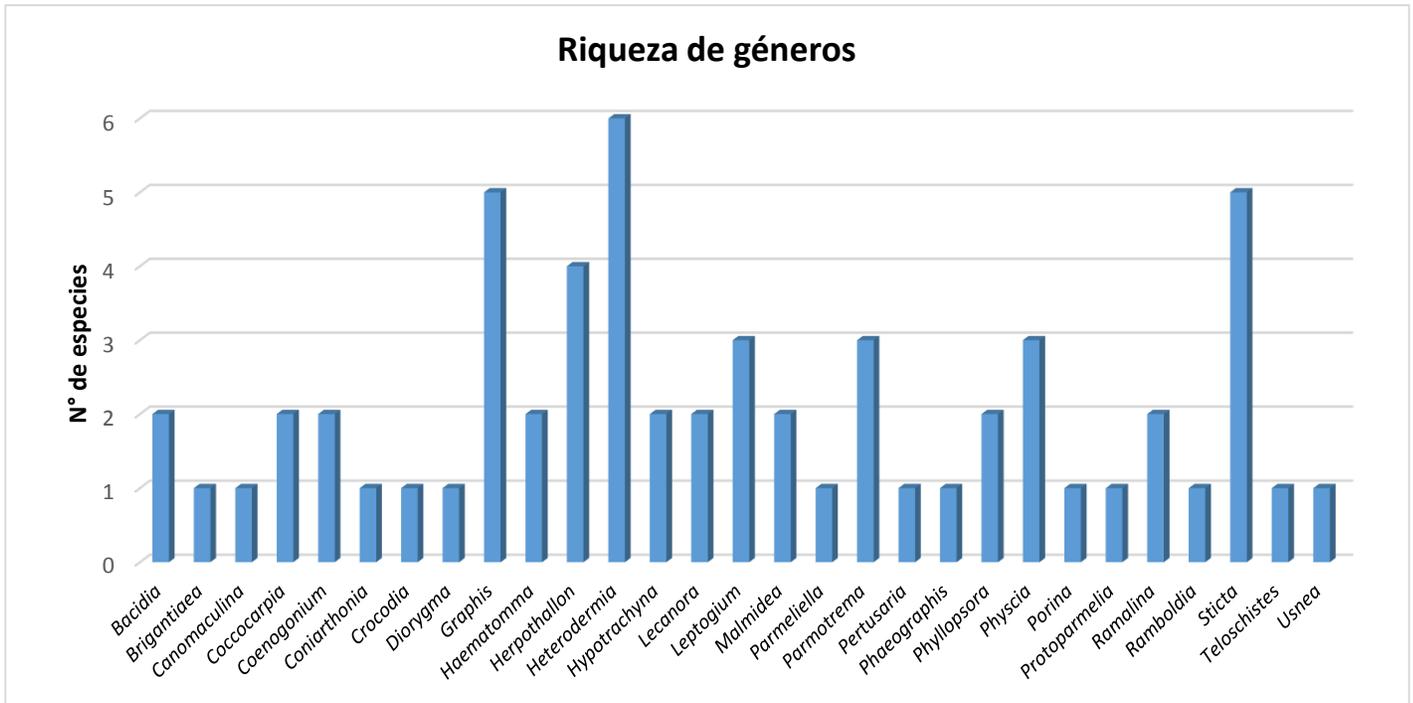
Muestra que se presenta una baja dominancia, mostrando a la comunidad de líquenes como equitativa o diversa (Anexo 10).

Igualmente se encontraron 29 géneros distribuidos en 17 familias de líquenes, siendo, las familias más representativas Parmeliaceae con cinco géneros, Graphidaceae y Ramalinaceae con tres géneros y la gran mayoría con un solo género. (Gráfica 2).



Gráfica 2: Número de géneros distribuidos en familias de líquenes corticícolas del JBP

Los géneros con mayor número de especies fueron *Heterodermia* (6), *Graphis* y *Sticta* (5), *Herpothallon* (4), *Leptogium*, *Parmotrema* y *Physcia* (3) (Anexo 6). La gran mayoría de géneros presentaron entre 1 y 2 especies, donde se resaltan algunos como *Bacidia*, *Coenogonium*, *Coccocarpia*, *Haematomma* (2) y *Brigantiaea*, *Canomaculina*, *Parmeliella*, *Ramboldia* y *Teloschistes* (1) (Gráfica 3).



Gráfica 3: Géneros con mayor riqueza de liquenoflora corticícola del JBP.

Se reportó un nuevo registro para el neotrópico de la especie *Graphis inversa* R.C. Harris, que se encuentra distribuida en Estados Unidos en los Estados de Louisiana, Alabama, Florida, Georgia, Carolina de Sur, Carolina del Norte y Virginia (Lücking, 2009).



Imagen 12: Especie *Graphis inversa* R.C. Harris, nuevo reporte para el neotrópico

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

Descripción de la especie

Líquen costroso de color amarillo a verde claro, con presencia de lirelas negras. Esporas con 7 septos, hialinas. Reacción KOH + púrpura de los cristales bajo el himenio. En micrositios abiertos a semiabiertos (Imagen 15).

10.1.2. Características reproductivas y tipos de desarrollo

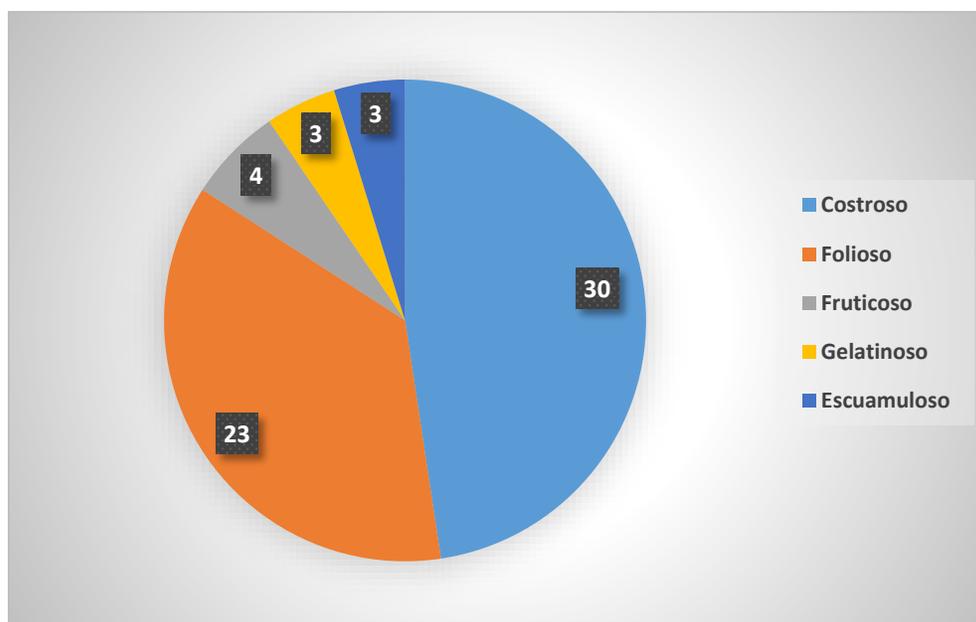
En cuanto a las características reproductivas, se presenta una matriz que muestra las especies de líquenes encontrados en el Jardín Botánico de Popayán, en relación a sus estructuras reproductivas y tipos de desarrollo (Anexo 4). Estas estructuras son de vital importancia para la reproducción de estos organismos, sea sexual o asexual. La estructura y funcionamiento de los ascos han revolucionado la sistemática actual de los líquenes y son importantes para su identificación; por su parte, las ascosporas (esporas), son muy variadas, simples, hialinas, de diverso colores de pardos a verde oscuro; lo mismo se puede apreciar de los septos o las capas de la pared que pueden ser ornamentadas o redondeadas (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Los ascomas son las estructuras donde están contenidos los ascos y hay una gran variedad, debido a su anatomía y morfología y entre los más comunes son apotecios, peritecios e Histerotecios (lirelas) (Chaparro y Aguirre, 2002).

En cuanto a los rasgos funcionales, se encontró que los micrositos presentaron patrones contrastantes en la presencia de algunos rasgos. Los micrositos cerrados tendieron a presentar una mayor abundancia de líquenes costrosos, mientras que los sitios abiertos dominaron los líquenes foliosos y fruticosos. Con respecto a los ascomas, se encontró que en la zona abierta hubo una mayor incidencia de ascomas de colores oscuros.

La mayor parte de las especies presentan esporas septadas, hialinas. Sin embargo, hay alto grado de ausencia de algunas estructuras (ascomas) como apotecios especialmente en géneros de tipo folioso, como *Heterodermia*, *Parmotrema*, *Physcia*, y *Sticta*; estas especies mostraron estructuras vegetativas y de fijación o adhesión como rizinas, cilios, isidios, soraliolos. Por su parte en géneros de tipo costroso, no se observaron estructuras como apotecios, en *Herpothallon*, *Porina*, *Lecanora*, y en especial las no determinadas en el cual estaban completamente estériles lo que dificultó la determinación.

Respecto a los tipos de desarrollo, predominan los costrosos con un 47,6% (30 especies), seguido de los líquenes foliosos con el 36,5% (23 especies), líquenes fruticosos con el 6,3% (4 especies), líquenes gelatinosos y escuamulosos con el 9,6% en total para los dos tipos de desarrollo (3 especies cada uno) (Gráfica 4).

De igual modo, se registró una mayor diversidad de tipos de desarrollo en las estaciones o micrositos donde la luminosidad fue superior, a diferencia de los micrositos cerrados que predominaron los de tipo costroso.



Gráfica 4: Tipos de desarrollo de especies de líquenes

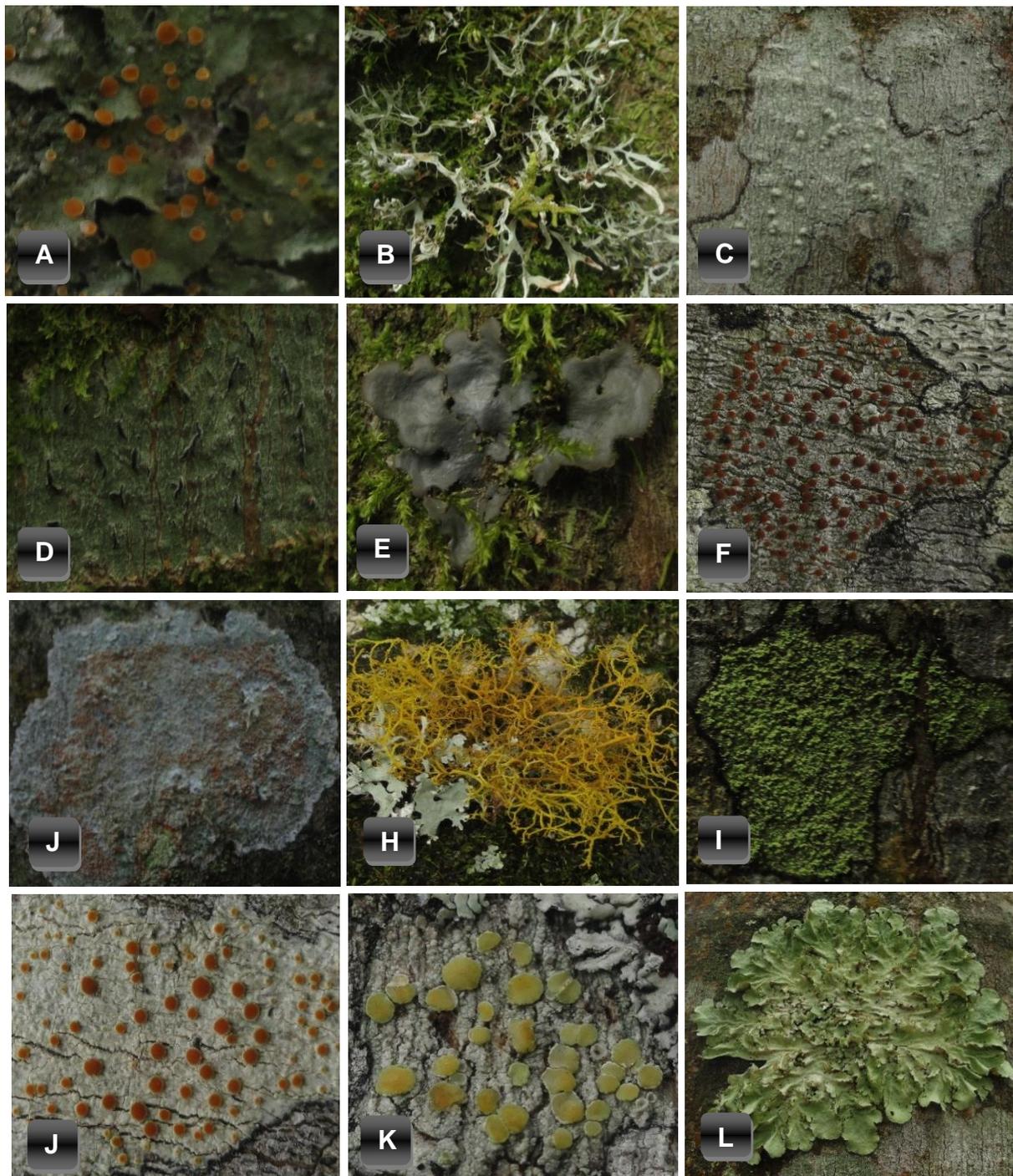


Imagen 13: Líquenes Jardín Botánico de Popayán. **A.** *Coenogonium* sp. **B.** *Heterodermia kurokawae*. **C.** *Pertusaria* sp. **D.** *Graphis argentata* **E.** *Sticta* aff. *impressula* **F.** *Ramboldia russula* **G.** *Herpothallon rubroechinatum* **H.** *Teloschistes flavicans* **I.** *Phyllopsora* cf. *nigrocincta* **J.** *Haematomma* sp. **K.** *Lecanora* sp. **L.** *Canomaculina* sp.

10.1.3. Frecuencia

Las especies *Diorygma* sp. (42 de 55 forófitos), *Coniarthonia* sp. (30), *H. rubrocinctum* (22), *Bacidia medialis* (19) presentaron la mayor frecuencia. En cambio, *Graphis* cf. *rimulosa* (6), *Sticta subfilicinella* (5), *Leptogium phylloleporum* (4), *Teloschistes flavicans* (3), *Sticta* sp.1 (2), *Parmeliella* cf. *tritophylla* (2), *H. rubroechinatum* y *Haematomma flexuosum* (1), presentaron la menor frecuencia (Tabla 3). De este modo gran parte de las muestras oscilaron entre valores de 1 y 6 de ocurrencia por forófito representando más del 73% del muestreo.

Tabla 3: Referencia de amplia y baja frecuencia de ocurrencia de líquenes por forófito

Frecuente	Poco frecuente
<i>Diorygma</i> sp. (42 forófitos)	<i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i> (6 Forófitos)
<i>Coniarthonia</i> sp. (30)	<i>Sticta subfilicinella</i> (5)
<i>Herpothallon rubrocinctum</i> (22)	<i>Leptogium phylloleporum</i> (4)
<i>Bacidia medialis</i> (19)	<i>Teloschistes flavicans</i> (3)
<i>Malmidea fuscella</i> (16)	<i>Sticta</i> sp.1 (2)
<i>Herpothallon pustulatum</i> (16)	<i>Parmeliella</i> cf. <i>tritophylla</i> (2)
<i>Pertusaria</i> sp. (13)	<i>Herpothallon rubroechinatum</i> (1)
<i>Heterodermia japonica</i> (12)	<i>Haematomma flexuosum</i> (1)

10.1.4. Cobertura

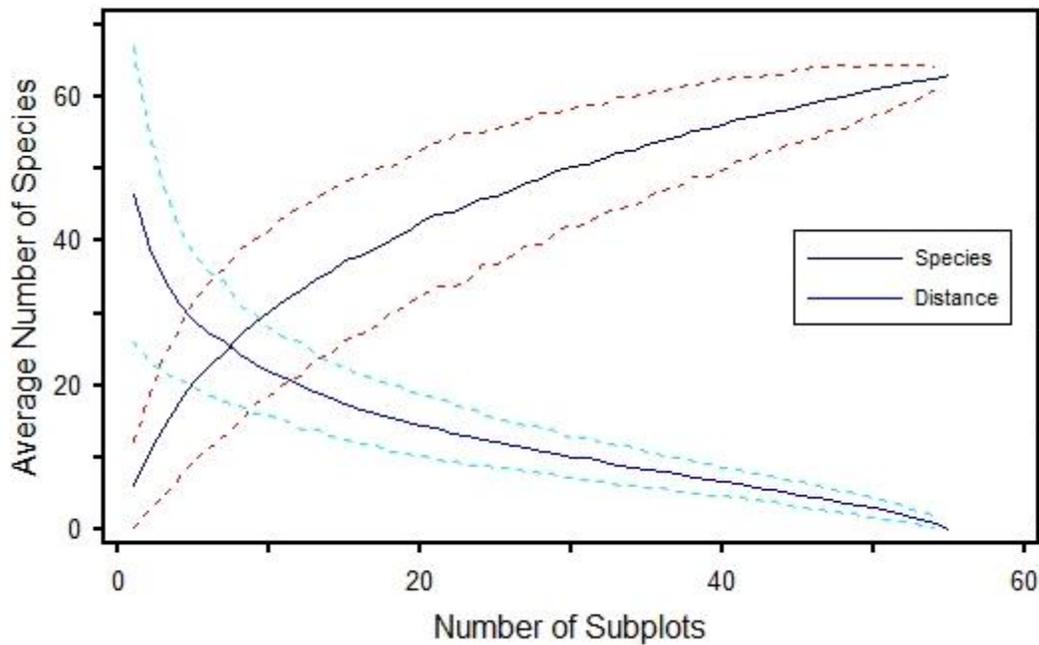
Entre las especies representativas por cobertura son *Diorygma* sp. (4042 cm²), *Coniarthonia* sp. (2071 cm²), *Graphis scripta* (756 cm²), *Usnea* sp. (696 cm²), *H. pustulatum* (628 cm²). Por otro lado, *Coccocarpia* sp. (96cm²), *Heterodermia podocarpa* (80cm²), *Heterodermia pseudospeciosa* (64cm²), *Haematomma* sp. (46cm²) y *Coenogonium magdalenae* (24cm²), representan más del 65% de las especies, que no sobrepasaron valores de 100 cm² de cobertura.

Tabla 4: Referencia de amplia y reducida cobertura de líquenes por forófito

Amplia cobertura	Reducida cobertura
<i>Diorygma</i> sp. (4042 cm ²)	<i>Coccocarpia</i> sp. (96cm ²)
<i>Coniarthonia</i> sp. (2071 cm ²)	<i>Heterodermia podocarpa</i> (80cm ²)
<i>Graphis scripta</i> (756 cm ²)	<i>Heterodermia pseudospeciosa</i> (64cm ²)
<i>Usnea</i> sp. (696 cm ²)	<i>Haematomma</i> sp. (46cm ²)
<i>Herpothallon pustulatum</i> (628 cm ²)	<i>Coenogonium magdalenae</i> (24cm ²)
<i>Pertusaria</i> sp. (560 cm ²)	<i>Brigantiaea leucoxantha</i> (16cm ²)
<i>Phyllopsora</i> sp. (424 cm ²)	<i>Sticta</i> aff. <i>impressula</i> (12cm ²)
<i>Sticta plumbeociliata</i> (404 cm ²)	<i>Graphis inversa</i> (8cm ²)
<i>Malmidea fuscella</i> (388 cm ²)	<i>Lecanora varia</i> (4cm ²)

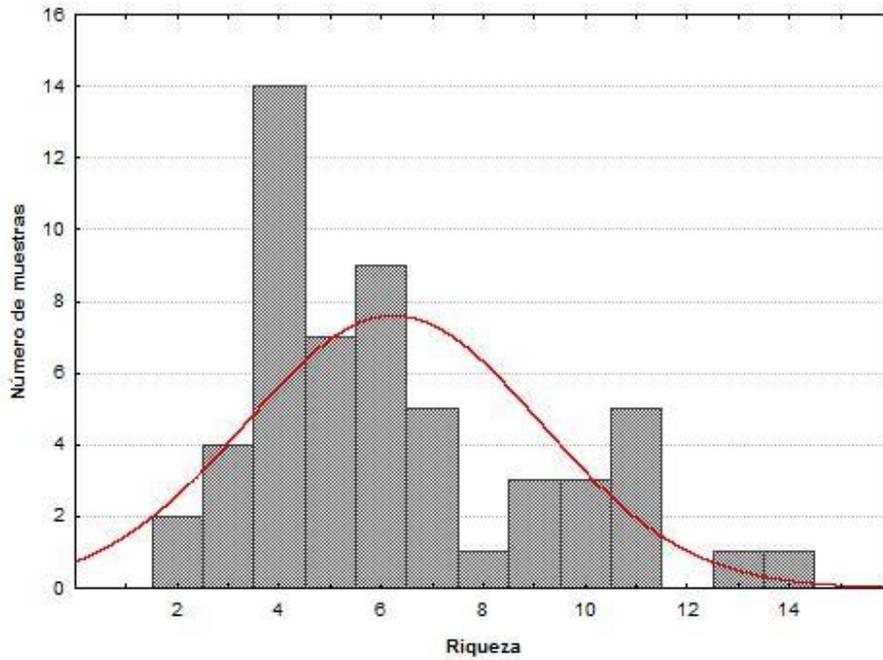
10.1.5. Representatividad del muestreo

La curva de acumulación de especies muestra que la riqueza de especies aumenta progresivamente con el número de unidades de muestreo y no tiende a estabilizarse, (Gráfica 5). De acuerdo al estimador de primer orden Jackknife (Gotelli y Colwell, 2010). se calculó una riqueza de 63 especies de líquenes, indicando una eficiencia de muestreo del 76%.



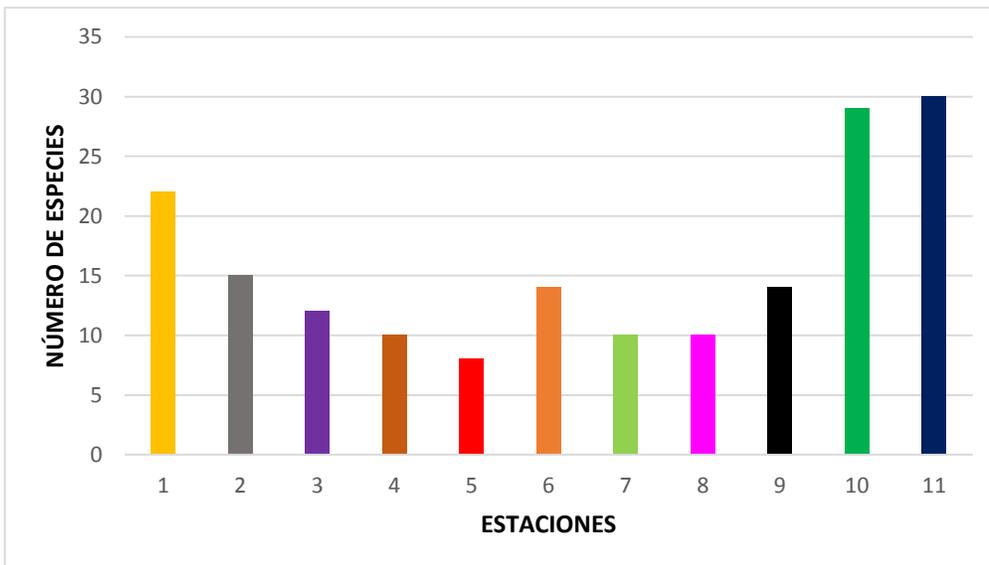
Gráfica 5: Curva de acumulación de especies

El 62% de los forófitos presentaron entre 3 y 7 especies de líquenes (Gráfica 6), teniendo en cuenta que se empleó un solo forófito de muestreo como fue el *Cecropia angustifolia* (Yarumo), pudiendo estar disminuido este promedio por esta situación.



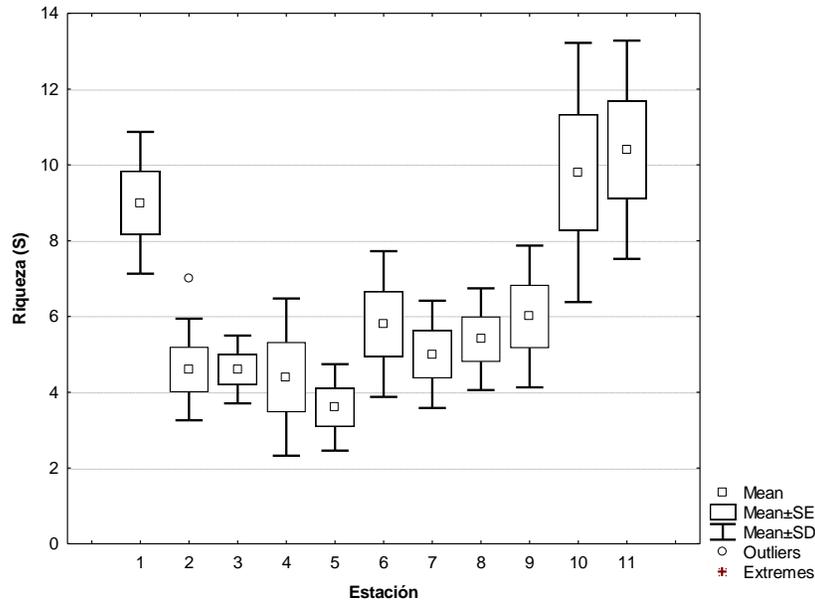
Gráfica 6: Riqueza de especies en las unidades de muestreo

Por su parte, la diversidad alfa evaluada por estaciones, nos muestra que estaciones con mayor número de especies fueron la 1, 10 y 11 que corresponden a estaciones o micrositios abiertos con 22, 29 y 30 especies respectivamente (Gráfica 7). En cambio, las estaciones 4, 5, 7 y 8 son las más pobres en número de especies correspondientes a micrositios cerrados y semiabiertos.



Gráfica 7: Distribución de especies por estaciones de muestreo

Algo muy similar se observa al gráfico presentado anteriormente muestra el diagrama de cajas, donde las estaciones 1, 10 y 11 presentaron mayor riqueza o diversidad alfa de líquenes en promedio (Tabla 6), (9, y 10 especies respectivamente), encontrándose en zonas con menor cobertura vegetal, mientras que los estaciones 4 y 5 de bosque cerrado y semiabierto mostraron una menor riqueza en promedio (4 especies) (Gráfica 8).

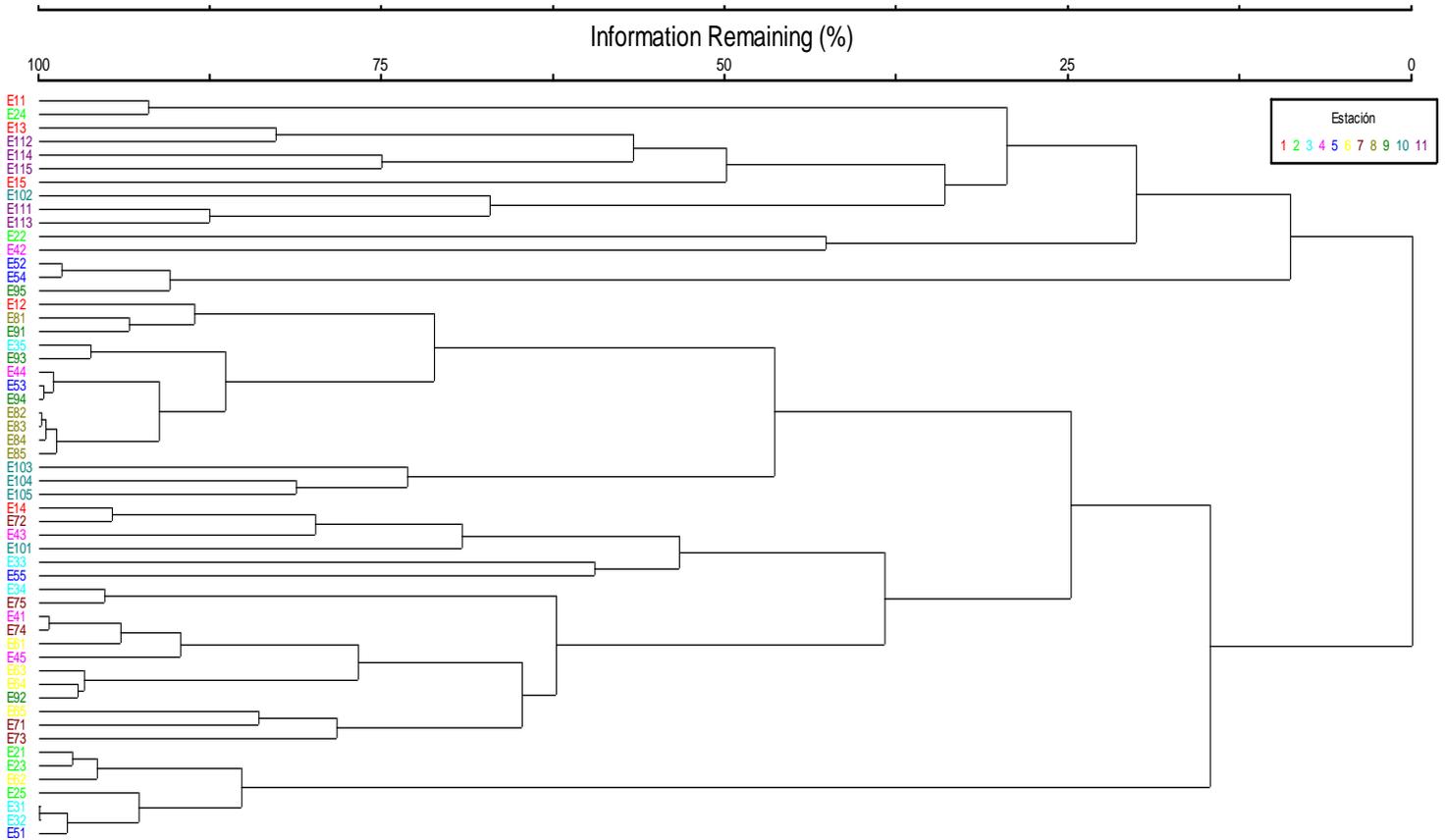


Gráfica 8: Diagrama de caja esquemática Riqueza – estaciones de muestreo

En las estaciones correspondientes a potrero y Arboretum que se encuentran dentro de los micrositios abiertos, se observaron mayor diversidad de especies, a diferencia de las estaciones de bosque cerrado; esto debido muy probablemente a la influencia de la luminosidad que presentan las estaciones de bosque abierto.

10.1.6. Similitud

El análisis clúster muestra que las estaciones cerradas y semiabiertas presentan similitud, por su parte que difieren de las estaciones abiertas.



Gráfica 9: Análisis clúster para las estaciones y puntos de muestreo.

Se observa, una mayor similitud entre los grupos de estaciones 1, 10 y 11, correspondientes a micrositios abiertos con igual características de similitud de especies. (Gráfica 9). Por otro lado, muestra otro agrupamiento entre las estaciones 2, 3, 4, 8 y 9 que corresponde a micrositios cerrados y con una probable similitud con las estaciones 5, 6 y 7 que se reconocen como micrositios semiabiertos, presentando una notoria disimilitud con el resto de las estaciones, especialmente con las de micrositios abiertos.

10.2. Parámetros Microclimáticos

Respecto a los parámetros microclimáticos se encontraron diferencias y significancias entre las variables respecto de la riqueza de líquenes y las estaciones de muestreo (Tabla 6).

10.2.1. Análisis de correlación

Se aplicó un análisis de correlación de Spearman, presentando correlaciones significativas de tipo positivo y negativo, en rangos fuertes y débiles (Tabla 2).

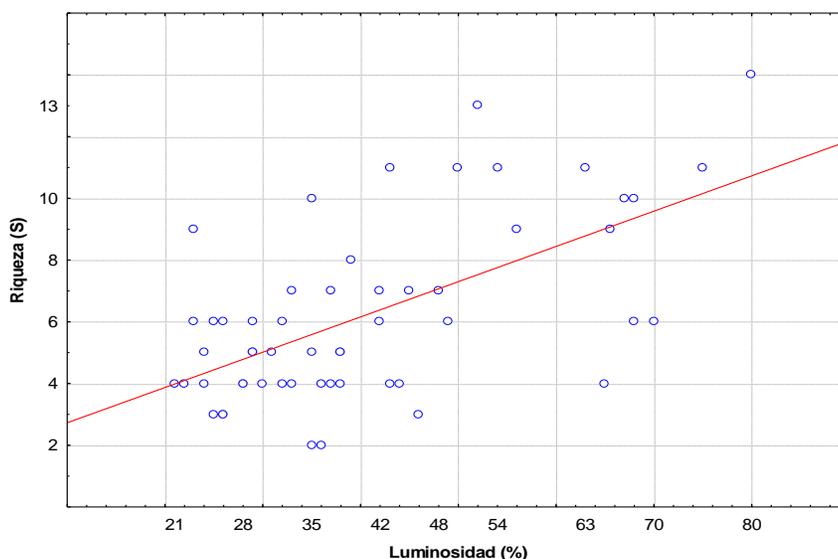
Los resultados obtenidos en los análisis estadísticos, muestran que las variables de luminosidad, temperatura presentan correlación fuerte y positiva con la riqueza de especies. Por el contrario, la humedad relativa presenta una correlación fuerte y negativa con la riqueza. El pH y DAP, presentaron correlaciones débiles y bajas respetivamente (Tabla 5).

Tabla 5: Análisis de correlación para las variables de muestreo

Variable	S	DAP	pH	Luminosidad (%)	T°	HR
S	1,00	0,15	-0,25	0,61	0,60	-0,64
DAP	0,15	1,00	-0,22	0,12	0,02	0,15
pH	-0,25	-0,22	1,00	-0,10	-0,26	0,30
Luminosidad (%)	0,61	0,12	-0,10	1,00	0,54	-0,51
T°	0,60	0,02	-0,26	0,54	1,00	-0,91
HR	-0,64	0,15	0,30	-0,51	-0,91	1,00

10.2.2. Luminosidad

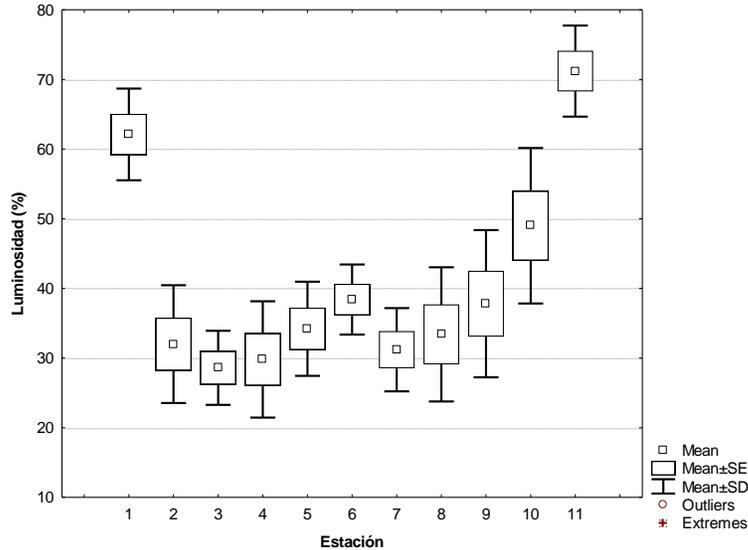
La riqueza respecto a la luminosidad presentó un valor (0,61) comportándose de manera significativa, con una correlación fuerte y positiva (Gráfica 10). Valores entre 42% y 70 % de luz, fueron los que presentaron mayor riqueza de especies de líquenes.



Gráfica 10: Gráfica de dispersión Riqueza – Luminosidad

Las estaciones que presentaron una mayor luminosidad en promedio fueron la 1 (62%), 10 (49%) y 11 (71%), (Tabla 6) que se reconocen como micrositios abiertos, con gran

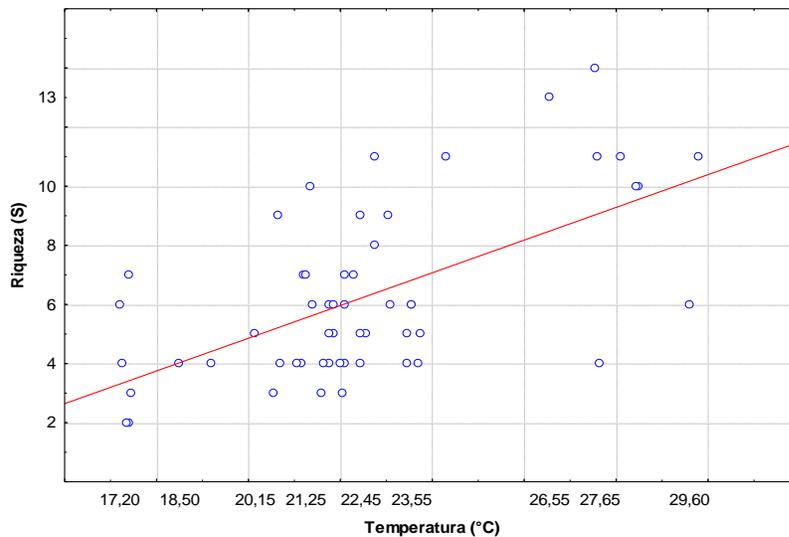
significancia de esta para la distribución de los líquenes. En cambio, las estaciones reconocidas como micrositios cerrados el porcentaje de luminosidad fueron menores. Los valores máximos y mínimos de luz fueron de 80% y 21% respectivamente (Gráfica 11).



Gráfica 11: Diagrama de cajas esquemáticas Luminosidad – Estaciones de muestreo

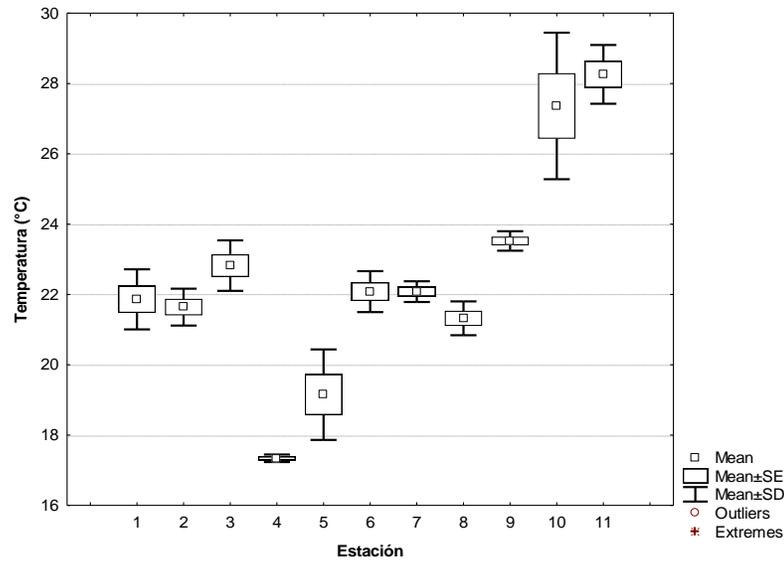
10.2.3. Temperatura

La temperatura tal cual que la variable de luminosidad refleja significancia, con una correlación fuerte y positiva (0,60) respecto a la riqueza de especies. Representado en el gráfico los valores entre un rango de 23,5 °C a 27,6 °C, es donde se presenta una mayor riqueza de líquenes.



Gráfica 12: Diagrama de dispersión Riqueza – Temperatura

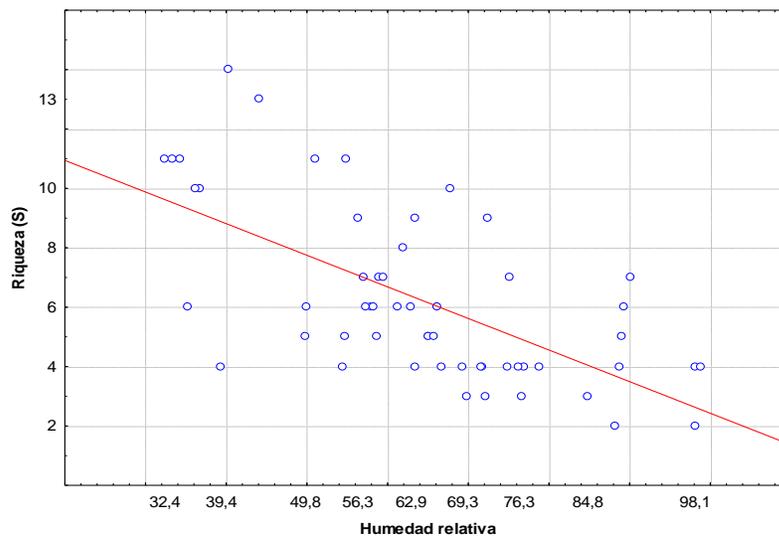
Las estaciones con mayor temperatura fueron la 10 y 11 con promedios entre 27,4 °C y 28,3 °C. (Tabla 6). El máximo registrado fue 29,8 en la estación 11 y el mínimo fue 17,2 en la estación 4.



Gráfica 13: Diagrama de cajas esquemáticas Temperatura – Estaciones de muestreo

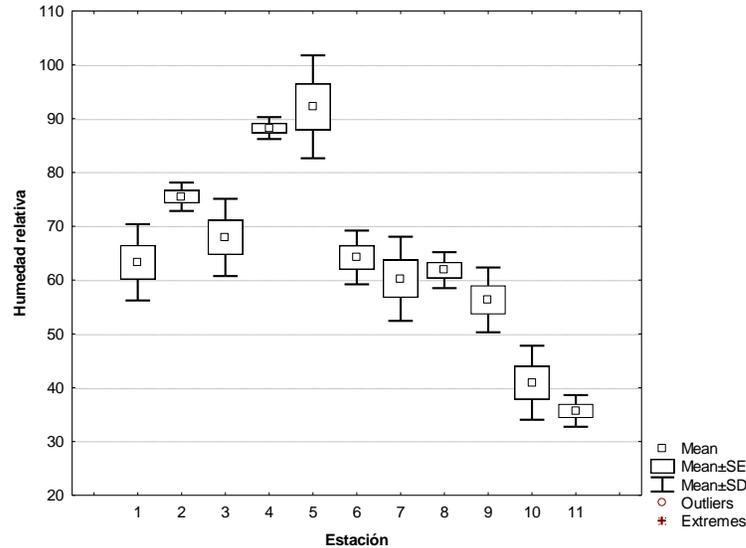
10.2.4. Humedad relativa

Sin embargo, la riqueza de especies respecto a la humedad relativa presentó significancia con una correlación fuerte y negativa (Gráfica 14), con valores de (-0,64), dando a conocer, una relación inversamente proporcional entre este parámetro y la riqueza de especies, evidenciado, en valores entre 32,4 y 39, 4 que son lo más bajos y se presenta una mayor riqueza.



Gráfica 14: Diagrama de dispersión Riqueza – Humedad relativa

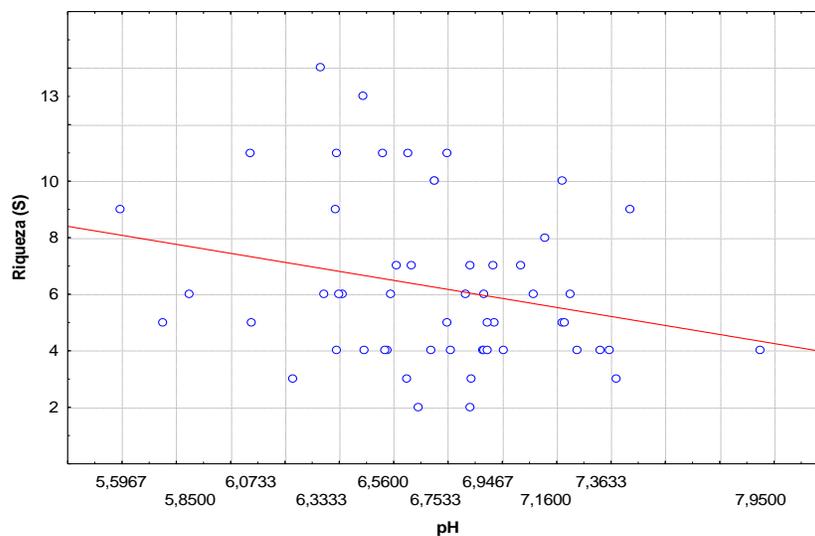
Se registró un máximo de 98,9% y mínimo de 32,4% (Tabla 6). Las estaciones con mayor porcentaje de Humedad relativa en promedio fueron la número 4 (88,2%) y 5 (92,2%), a diferencia de estaciones 10 y 11 que presentaron los valores más bajos con 40,9% y 35,7% respectivamente (Gráfica 15).



Gráfica 15: Diagrama de cajas esquemáticas Humedad Relativa – Estaciones de muestreo

10.2.5. pH de la corteza

La variable de pH, presentó una correlación débil y negativa (-0,25) respecto a la riqueza de especies, debido que sus valores no sufrieron representaron gran variación a los largo de los forófitos de muestreo (Gráfica 16). Sin embargo, se observó que valores de pH cercanos entre 6 y 6,5 fueron los que se correlacionaron significativamente con una alta mayor riqueza de especies.



Gráfica 16: Diagrama de dispersión Riqueza – pH

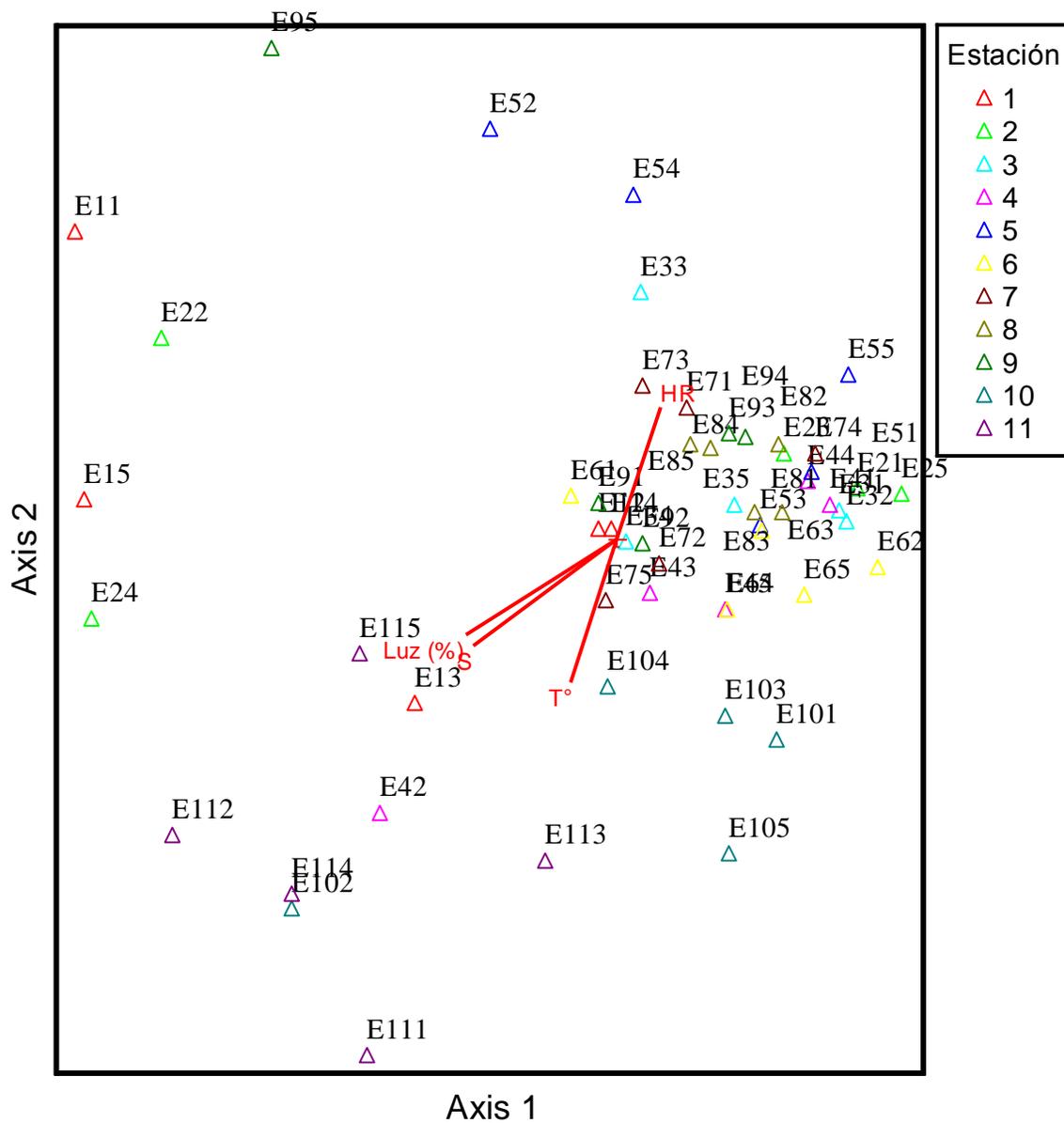
	15	5	18	7,22	29	23,5	65,1
	Promedio	5	20	6,67	29	22,8	67,9
4	16	3	21	7,42	25	17,5	84,8
	17	2	20	6,69	35	17,4	88,2
	18	7	20	6,67	42	17,4	90,1
	19	4	28	6,74	24	17,3	88,8
	20	6	23	6,41	23	17,2	89,3
	Promedio	4	22	6,79	30	17,3	88,2
5	21	2	26	6,88	36	17,4	98,2
	22	4	29	6,58	37	18,5	98,1
	23	4	25	7,95	43	19,2	98,9
	24	5	27	6,80	29	20,2	89,1
	25	3	28	6,65	26	20,6	76,7
	Promedio	4	27	6,97	34	19,2	92,2
6	26	7	14	7,07	37	22,1	58,9
	27	3	6	6,89	46	21,6	72,2
	28	6	8	7,25	32	21,4	62,9
	29	5	8	6,97	38	22,6	65,1
	30	8	10	7,16	39	22,8	61,9
	Promedio	6	9	7,07	38	22,1	64,2
7	31	5	9	7,23	24	21,9	49,8
	32	5	8	6,95	35	21,8	65,7
	33	7	8	6,97	33	22,3	57,1
	34	3	11	6,23	26	22,1	69,9
	35	5	20	6,08	38	22,5	58,7
	Promedio	5	11	6,69	31	22,1	60,2
8	36	6	13	6,93	25	21,8	58,3
	37	4	7	7,40	30	21,1	63,5
	38	4	7	6,49	38	20,7	66,7
	39	7	14	6,88	48	21,3	59,5
	40	6	18	6,87	26	21,9	61,2
	Promedio	5	12	6,91	33	21,3	61,8
9	41	9	22	5,60	23	23,1	56,3
	42	6	18	6,59	42	23,6	66,2
	43	5	21	5,75	31	23,8	54,7
	44	4	18	6,57	44	23,7	54,5
	45	6	18	6,35	49	23,6	49,9
	Promedio	6	19	6,17	38	23,5	56,3
	46	4	22	7,01	65	27,7	39,4
	47	11	19	6,65	43	29,8	33,3

10	48	10	19	6,75	35	28,5	36,8
	49	13	37	6,49	52	26,6	44,1
	50	11	25	6,80	50	24,3	51,0
Promedio		10	24	6,74	49	27,4	40,9
11	51	11	22	6,07	75	27,6	32,4
	52	10	19	6,75	68	28,5	36,2
	53	6	25	6,40	70	29,6	35,2
	54	11	28	6,56	63	28,1	34,3
	55	14	15	6,33	80	27,6	40,3
Promedio		10	22	6,42	71	28,3	35,7

10.2.7. Escalamiento No Métrico Multidimensional NMS

Dentro del análisis de Escalamiento no Métrico Multidimensional (NMS), se presenta similitud entre las estaciones o micrositios cerrados y semiabiertos, en la cual tienen especies similares de líquenes. De igual modo, estas últimas difieren de las estaciones abiertas.

Los forófitos de las estaciones 2 al 9, pertenecientes a micrositios cerrados y semiabiertos, se vieron claramente agrupadas de manera compacta en el plano para el eje de Humedad relativa presentando altos valores de esta variable microclimática. Para el caso de los forófitos de las estaciones 1, 10 y 11 presentaron un comportamiento más disperso y se vieron agrupadas hacia el los ejes de riqueza, Luminosidad y temperatura, donde presentaron altos valores. Los valores de pH y DAP, no estuvieron correlacionados con las dimensiones del NMS.



Gráfica 20: Análisis NMS para las estaciones de muestreo

10.2.8. Análisis de especies indicadoras (IV)

El análisis de especies indicadoras (Simulación de Monte Carlo), mostró que 12 especies de líquenes presentaron preferencias significativas ($p < 0.05$), como son *Herpothallon cf. japonicum*, *Usnea sp.*, *Canomaculina sp.*, *Physcia sp. 2*, *Lecanora sp.*, *Teloschistes flavicans*, *Hypotrachyna sp. 1* y *Heterodermia leucomela* por micrositios

abiertos. Por su parte, las especies *Sticta subfilicinella*, *Coccocarpia palmicola* por microsítios semiabiertos y *Phyllopsora* sp., *Coccocarpia* sp., por microsítios cerrados (Tabla 7).

De igual forma, 9 especies mostraron preferencias marginalmente indicadoras ($p < 0.1$) (Tabla 7), como son las especies *Graphis* cf. *rimulosa*, *Heterodermia japonica*, *Heterodermia speciosa*, *Physcia* sp. 1, *Graphis aurita*, *Haematomma* sp., por microsítios abiertos y *Herpothallon rubrocinctum*, *Coniarthonia* sp., y *Phyllopsora* cf. *nigrocincta* son representativos de microsítios cerrados.

Tabla 7: Especies indicadoras para la estaciones de muestreo

Espece	Estación /Micrositio	VIO	VIE	SD	p
<i>Herpothallon</i> cf. <i>japonicum</i>	1 - Abierto	80	12	8,12	0,0006*
<i>Canomaculina</i> sp.	10 - Abierto	53,1	13,3	6,66	0,0014*
<i>Usnea</i> sp.	11 - Abierto	69,9	21,7	10,72	0,0016*
<i>Physcia</i> sp. 2	11- Abierto	60	12,5	8,34	0,0044*
<i>Lecanora</i> sp.	11 - Abierto	60	14,9	7,37	0,0044*
<i>Teloschistes flavicans</i>	11 - Abierto	60	14,9	7,72	0,0048*
<i>Phyllopsora</i> sp.	3 - Cerrado	50,6	17,3	9,1	0,005*
<i>Coccocarpia</i> sp.	9 - Cerrado	35	13,1	6,03	0,0108*
<i>Hypotrachyna</i> sp. 1	11 - Abierto	36,5	14,5	7,79	0,0286*
<i>Sticta subfilicinella</i>	5 - Semiabierto	26,9	14	7,6	0,0302*
<i>Heterodermia leucomela</i>	10 - Abierto	28,4	13	7,56	0,038*
<i>Coccocarpia palmicola</i>	6 - Semiabierto	30,8	15,2	8,25	0,0446*
<i>Heterodermia japonica</i>	10- Abierto	36,3	19,4	9,63	0,0614 ^b
<i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i>	10 - Abierto	25,9	13,1	7,1	0,0632 ^b
<i>Herpothallon rubrocinctum</i>	2 - Cerrado	32	18,6	7,38	0,0656 ^b
<i>Coniarthonia</i> sp.	8 -Cerrado	22,6	15,5	4,25	0,0672 ^b
<i>Heterodermia speciosa</i>	10 - Abierto	40	13	7,53	0,0724 ^b
<i>Physcia</i> sp. 1	10 - Abierto	40	13,2	7,48	0,0724 ^b
<i>Graphis aurita</i>	11 - Abierto	40	15,3	6,97	0,0738 ^b
<i>Phyllopsora</i> cf. <i>nigrocincta</i>	4 - Cerrado	31,8	16	8,47	0,0778 ^b
<i>Haematomma</i> sp.	11 - Abierto	40	19,2	6,07	0,0782 ^b

* Significativamente indicadora y b marginalmente indicadora. Dónde: **VIO** = Valor Indicador Observado, **VIE** = Valor Indicador Esperado, **SD** = Desviación Estándar y **p** = Valor.

11. DISCUSIÓN

11.1. Parámetros ecológicos

Las diferencias en composición de líquenes se explican por la heterogeneidad de micrositios en el Jardín Botánico de Popayán (JBP), algo que coincide con lo expuesto por Cantor y Urbano (2002), donde afirman, que el JBP al presentar características climáticas diferentes (microclimas), la presencia o ausencia de algunas especies puede estar influenciada no tanto por la contaminación atmosférica sino muy posiblemente por las condiciones medioambientales del lugar.

Teniendo en cuenta las diferencias en el área y el tipo de muestreo, el promedio de líquenes por forófito encontrado en el área del Jardín Botánico de Popayán es alto con 6,3 especies en un área de 8 ha, comparado con otras zonas que presentaron una mayor área de muestreo, como fueron los estudios de Cáceres *et al.* (2007) en Brasil que presentó 8,6 especies en un área de 50 ha, Nascimbene y Marini (2015) en Italia con 13,2 especies (74000 ha.) y con el de Nöske (2004) en Ecuador con 25 especies (1000 ha.) y el de Soto-Medina *et al.* (2012) en Colombia con 5,4 especies (14 ha.) que fue la única que presentó un menor promedio. Igualmente se destaca el reporte de un nuevo registro para el neotrópico de la especie *Graphis inversa* R.C. Harris, que se encuentra distribuida en 7 Estados en los Estados Unidos, (Lücking *et al.*, 2009).

En cuanto a la cobertura especies, se encontró que forófitos con mayor cobertura líquénica, presentaron menor cantidad de especies, y forófitos con menor cobertura tendieron a mostrar mayor riqueza de líquenes, algo relacionado con Soto-Medina *et al.* (2015), que presentaron el mismo caso, sólo que el estudio incluyó también a briófitos, que igualmente generaron una relación inversamente proporcional entre la cobertura de estos últimos organismos y la riqueza de líquenes Soto-Medina *et al.* (2015).

Especies de mayor abundancia, igualmente fueron las especies más frecuentes, como el caso de *Diorygma* sp., *Coniarthonia* sp., *H. rubrocinctum* y *Bacidia medialis*. Sin embargo, esta alta frecuencia no siempre significó una alta cobertura.

Una probable explicación a la alta diversidad de líquenes costrosos se debe principalmente, a las adaptaciones fisiológicas que presentan estos organismos ante las altas concentraciones de humedad y baja intensidad lumínica, condiciones propias de los sitios muestreados (Lakatos *et al.* 2006; Rincón-Espitia, *et al.* 2011).

Los líquenes foliosos representaron un alto número de especies (23 en total) en las familias Parmeliaceae, Physciaceae y Lobariaceae, debido a que tienen su óptimo de expresión en bosques de elevaciones medianas, es decir en las regiones de vida subandina y andina (Aguirre 2008; Rincón-Espitia *et al.* 2011), y en micrositios abiertos, condiciones que presenta el JBP. Además, que la presencia de líquenes foliosos

corticícolas se encuentra correlacionada con la complejidad del ambiente (Vallejo y Méndez, 2003).

De igual modo, la presencia de familias como Collemataceae y Lobariaceae en estaciones o micrositios cerrados, se explican por su preferencia en zonas de alta humedad y baja intensidad lumínica, típicamente de la parte baja de los forófitos o con presencia dispersa en forófitos con baja luminosidad (Simpan y Aptroot, 2007; Díaz-Escandón *et al.* 2014).

El índice de Shannon- Weaver, presentó un valor por encima de 3 ($H' = 3,5011$), indicando como diversa a la comunidad de líquenes; además el índice de Simpson muestra un resultado de $D = 0,04390$, indicando que se presenta baja dominancia y con esto siendo equitativa la muestra, puesto que, la dominancia es inversamente proporcional a la equidad. Los resultados mostrados, puede explicarse muy probablemente a la alta disponibilidad de hábitats, la presencia de micrositios con características microclimáticas definidas, amplia área de distintas coberturas vegetales que conllevan de forma positiva a la composición de especies de líquenes.

El 62% de los forófitos comprendieron entre 3 y 7 especies de líquenes con resultados similares a Soto-Medina *et al.* (2012), que con el 76% de los forófitos presentaron entre 3 y 6 especies de líquenes, aclarando que en este último estudio las unidades de muestreo (forófitos) incluyeron 5 especies que fueron *Clusia* sp., *Heliocarpus americanus*, *Meriania* sp., *Saurauia brachybotrys* y *Schefflera ferruginea*, a diferencia de este, donde sólo se incluyó *Cecropia angustifolia*, probablemente abarcando mayor densidad de líquenes.

11.2. Parámetros microclimáticos

Las variables microclimáticas que influyeron en la distribución de los líquenes en el JBP, fueron la luminosidad, temperatura y humedad relativa, coincidiendo con lo sustentado por De Los Ríos (2003), donde afirma que son los factores abióticos antes nombrados los que más influyen en la fisiología líquénica. Ahora bien, las diferencias encontradas en el análisis de Escalamiento no Métrico Multidimensional (NMS) y variables microclimáticas, pueden ser producto de cambios en distintas escalas en los valores luz, temperatura y humedad relativa encontrados en las distintas estaciones o micrositios, relacionándose con McCune *et al.* (2002), que señala que los líquenes están fuertemente influenciados tanto por variables macro como microambientales, que afectan su riqueza, abundancia y distribución a diferentes escalas.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las correlaciones y el NMS, forófitos de las estaciones 1, 10 y 11 se agruparon al eje de luminosidad, encontrando una significancia con la riqueza de especies en micrositios abiertos. Estos resultados concuerdan notoriamente con los expuestos por Soto-Medina *et al.* (2012), donde afirma que las diferencias en la composición de líquenes, son producto de un gradiente ambiental, en

especial de DAP e intensidad lumínica; algo relacionado fuertemente también, por estudios de Wolf (1993) en la cordillera central de Colombia y en un bosque montano en Costa Rica Holz (2003), donde los factores luz, humedad relativa, pH y estructura de la corteza afectaron la formación de comunidades de líquenes, especialmente por la entrada de luz al sitio (Benítez, Prieto, González y Aragón, 2012; Soto-Medina *et al.* 2012, 2015).

En cuanto a la temperatura, el NMS mostró una agrupación hacia este eje, similar con la luminosidad, una probable explicación a esta relación significativa con la riqueza de especies, es porque, tienen la capacidad de sobrevivir a un amplio rango de temperaturas, como lo afirma De los Ríos (2003). Es decir, que las temperaturas presentes en microhábitats o micrositos cerrados son distintas a los hábitats expuestos o abiertos, generando así las diferencias en composición.

Por otro lado, estudios entre la riqueza de especies y gradientes altitudinales muestran que se presenta una fuerte dependencia directamente proporcional entre la elevación y la diversidad de líquenes y se asocia generalmente con un aumento de la humedad relativa del aire, dando como resultado tasas de desecación más rápidos de organismos poiquilohídricos, lo que dificulta la actividad fotosintética por la baja radiación solar (Nascimbene y Marini, 2015). Estos estudios relacionan una fuerte dependencia de la elevación de la diversidad de líquenes epifitos, que se puede atribuir a factores climáticos que controlan las principales funciones eco fisiológicas de estos organismos, proporcionando una herramienta para detectar cambios importantes en las comunidades de líquenes que reflejan cambios en las condiciones climáticas (Nascimbene y Marini, 2015).

El NMS, en relación con la humedad relativa, mostró un agrupamiento de manera compacta, con forófitos de las estaciones 2 al 9 y está correlacionada inversamente a la riqueza de especies de líquenes en el Jardín Botánico de Popayán en estaciones o micrositos abiertos donde presenta bajos valores, coincidiendo con Vallejo y Méndez (2003), que resaltan a la humedad relativa como factor determinante en la distribución de líquenes en zonas sombreadas, donde hay un predominio fuertemente de líquenes costrosos y la composición de líquenes está claramente definida por los rangos dados en las estaciones.

Esto coincide con Soto-Medina, *et al.* (2015), en un estudio realizado en el Chocó biogeográfico, zona del Valle del Cauca, donde la alta cobertura de briófitos, generó una baja cobertura de líquenes. Su probable explicación, es por la influencia de estos organismos que tienden a preferir sitios oscuros y encontrarse de manera abundante (Lakatos, Rascher y Budel, 2006; Soto-Medina *et al.* 2015), e interactúan mediante una relación de competencia por espacio, restringiendo el crecimiento sobre todo de este tipo de desarrollo afectando la composición de líquenes en dichas zonas (Kelly *et al.* 2004; Díaz-Escandón *et al.* 2014).

Los valores de pH y DAP, no estuvieron correlacionados con las dimensiones del NMS, porque no fueron significativas a pesar, que de ciertas formas el DAP se relacionó más con las variables de luz y temperatura y el pH con la humedad relativa.

En el análisis de conglomerados- Clúster, las estaciones cerradas y semiabiertos presentan similitud y tienen especies similares, por su parte, difieren de las estaciones abiertas coincidiendo con estudios de Soto-Medina *et al.* (2015) en el Chocó biogeográfico, sector del Valle del Cauca. La alta similitud entre estaciones o micrositios cerrados y semiabiertos, puede ser debido a que presentan muy poca riqueza de especies. Otra razón sería el alto porcentaje de humedad relativa que presenta lo que hace un agrupamiento bastante compacto o también por la cercanía entre una estación.

El análisis de especies indicadoras (simulación de Monte Carlo), mostró que 12 especies de líquenes de diferente tipo de desarrollo presentaron preferencias significativas ($p < 0.05$) y de igual forma, 9 especies mostraron preferencias marginalmente indicadoras ($p < 0.1$) para los distintos micrositios. Las preferencias a micrositios abiertos de especies de líquenes fruticosos como *Usnea* sp., *Teloschistes flavicans*, mostrados en el análisis, se pueden explicar, ya que este tipo de desarrollo se encuentran adaptados a la radicación solar, al viento y baja humedad relativa (McCune *et al.* 1997, Rosabal *et al.* 2012, Cabrera *et al.* 2015).

12. CONCLUSIONES

Se encontraron en el área de estudio, 63 especies de líquenes, de los cuales 39 se identificaron hasta especie, 21 hasta género, 3 no fueron determinadas, pertenecientes 29 géneros y 17 familias.

La diversidad de especies fue alta, a pesar que la curva de acumulación de especies no tiende a estabilizarse, y con esto la probabilidad de encontrar un mayor número de especies y hasta nuevos registros como el ya encontrado. Agregado a esto, la zona del departamento del Cauca hace falta más estudios que reflejen más claro la liquenoflora de la región.

Se reporta un nuevo registro para el neotrópico de la especie *Graphis inversa* R.C. Harris, que se encuentra distribuida en 7 Estados en los Estados Unidos.

En relación a los parámetros ecológicos, forófitos con alta cobertura liquénica presentaron menor cantidad de especies y viceversa. Por otro lado, la frecuencia de especies se vio relacionada con la abundancia de las mismas. Como también, especies con alta frecuencia en los forófitos, no siempre presentaron una alta cobertura.

Según el índice de Shannon-Weaver la muestra es diversa ($H' = 3,5011$), y se encuentra relacionado con el resultado del índice de Simpson que arrojó un valor de ($D' = 0,04390$), dando a conocer que hay poca dominancia y por lo tanto es equitativa la muestra.

El estudio presenta una eficiencia de muestreo del 76%, de acuerdo al estimador de Jackknife de primer orden. Al igual que el 61% de los forófitos presentaron entre 3 y 7 especies de líquenes y El promedio de líquenes por forófito es de 6,3 especies.

Los tipos de desarrollo folioso y fruticoso presentaron preferencia por zonas de alta radiación solar y baja humedad relativa o micrositios abiertos, a diferencia, de los costrosos que presentan mayor abundancia a altas concentraciones de humedad y baja intensidad lumínica o micrositios cerrados.

Se presenta una relación ecológica de competencia entre briofitos y algunos tipos de desarrollo en líquenes como foliosos y fruticosos en micrositios cerrados, por mostrar valores de humedad relativa altos, encontrándose patrones de abundancia distintos, puesto que los briofitos tienden a establecerse en sitios oscuros y de altos valores de este parámetro, a diferencia de los tipos de líquenes anteriormente nombrados que prefieren sitios expuestos.

Se observa una diferencia notable en la diversidad alfa de líquenes en estaciones abiertas (1, 10 y 11), a diferencia de las estaciones de bosque denso o micrositios cerrados, por las diferencias marcadas entre variables de luminosidad, temperatura y

humedad relativa, como también de adaptaciones fisiológicas y morfológicas de los organismos.

Las especies *Herpothallon* sp., *Usnea* sp., *Canomaculina* sp., mostraron preferencias significativas ($p < 0.05$) por micrositios abiertos y *Phyllopsora* sp., y *Sticta subfilicinella* por micrositios cerrados y semiabiertos respectivamente.

De igual modo, las especies *Graphis* cf. *rimulosa*, *Haematomma* sp., y *Phyllopsora* cf. *nigrocincta* mostraron presentaron preferencias marginalmente indicadoras ($p < 0.1$) por micrositios abiertos y cerrados.

Los forófitos de estaciones abiertas se agruparon de manera dispersa hacia los ejes de los parámetros microclimáticos de Luminosidad, temperatura en el Escalamiento no Métrico Multidimensional (NMS), presentando una correlación positiva con la riqueza de especies de líquenes; mientras que los forófitos de estaciones cerradas, se agruparon de forma compacta hacia la humedad relativa en otro eje del NMS y presentó una correlación negativa con la riqueza de especies.

Finalmente, se concluye que forófitos con una mayor luminosidad y menor humedad relativa tendieron a presentar una mayor riqueza de especies. El pH y DAP no presentaron correlaciones significativas con la riqueza, por tanto, la distribución de los líquenes del Jardín Botánico de Popayán se ve afectada por la luz, la temperatura y la humedad relativa.

13.RECOMENDACIONES

Se hace necesario realizar muestreos incluyendo otras especies de forófitos, a fin de especificar si existen preferencias especies de líquenes a forófito en particular.

Realizar estudios de especies acompañantes de los líquenes, a fin de determinar alguna relación ecológica entre estas.

Ampliar los estudios en esta zona del Departamento, para conocer con mayor claridad la liquenoflora de la región y contribuir con nuevos registros y posibles endemismos y especies que tengan algún grado de amenaza.

Afianzar la colección de líquenes presente en el Herbario Álvaro Fernández Pérez, por medio de convenios con expertos en el tema, que permitan enriquecerla, mantenerla en buen estado y actualizar la sistematización periódica de la misma.

14. BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Jaime. Diversidad y Riqueza de líquenes en Colombia. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.) Colombia Diversidad Biótica VI Riqueza y diversidad de los musgos y líquenes en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2008, p 598.

AGUIRRE, Jaime y VALENCIA, M. Líquenes. Santa Fé de Bogotá: 1995. Universidad Nacional de Colombia.

AHMADJIAN, Vernon. Lichens. New York and London: Academic Press, En: Symbiosis, 1996, p. 35-97.

ARAGÓN, G., MARTÍNEZ, I., Izquierdo, P., Belinchón, R. y Escudero, Adrián. Effects on forest Management on epiphytic lichen diversity in Mediterranean forests. En: Appl. Veg. Sci. 13: 2010, p 183-194.

BACA, Aída y LOZANO, Luis. Estructura y composición florística del área del Jardín Botánico de Popayán. Fundación Universitaria de Popayán. 1999. En: Resúmenes primer Congreso Colombiano de Botánica. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

BARRENO, Eva y PÉREZ-ORTEGA, Sergio. Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias: Líquenes y el medio. En: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructura del Principado de Asturias: KRK ediciones, 2003, p. 83-112. Disponible en: (http://www.uv.es/barreno/Medio_y_bioindicadores.pdf)

BENÍTEZ, A., Prieto, M., González, Y., & Aragón, G. Effects of tropical montane forest disturbance on epiphytic macrolichens. *Science of the Total Environment*. 2012. 441,169-175.

BERNAL, R., S.R. GRADSTEIN & CELIS, M. (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Disponible en: (<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/>)

BLUM, O. "Water Relations", en V. Ahmadjian & M. E. Hale (Eds.), *The Lichens*, 1973, p. 381-400, Academic Press, New York and London.

BOLD, H., ALEXOPOULUS, J. y DEVELORYAs, T. *Morfología de las plantas y los hongos*. 1989. Barcelona: Omega.

BRAY, J. R. y CURTIS, J. T. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 1957, 27:325-349.

BRODO, I. Substrato Ecology. In: V. Ahmadjian & M.E. Hale (eds.), *The Lichens*: 1973, 401-440. Academic Press. New York. London.

BROWER, J. E. y ZAR, J. H. 1984. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Co. Dubuque, Iowa. 226 pp.

CABRERA- AMAYA, Diego, FAJARDO-GUTIÉRREZ, Francisco y ROJAS-ZAMORA, Oscar. Diversidad de líquenes, musgos y hepáticas en el Corregimiento de Pasquilla (Bogotá-Colombia). 2015. Presentación en VIII Congreso Colombiano de Botánica, Manizales, Colombia.

CÁCERES, Marcela, LÜCKING, Robert y RAMBOLD, Gerhard. Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. En: *Mycol. Progress.*, 2007, vol. 10, p. 190-210. Disponible en: (<http://www.scielo.sa.cr/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S00347744201200020002600006&pid=S0034-77442012000200026&lng=es>)

CÁCERES, Marcela, LÜCKING, Robert y RAMBOLD, Gerhard. Efficiency of sampling methods for accurate estimation of species richness of corticolous microlichens in the Atlantic rainforest of northeastern Brazil. En: *Biodivers Conserv.*, 2008, vol. 17, no. 6, p. 1285-1301.

CANTOR, Sandra y URBANO, Sandra. Estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca, Colombia. Tesis de pregrado en Ecología. Popayán: 2002. Fundación Universitaria de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

UCO. Catálogo virtual ilustrado de la flora del Oriente Antioqueño. 2008. Antioquia. Disponible en: (<http://www.uco.edu.co/floraorienteantioquia/cecropiaceae/Cecropia-angustifolia-Trecul/Paginas/default.aspx>)

CHAPARRO, Martha y AGUIRRE, Jaime. *Hongos liquenizados*. 2002. Bogotá: El Malpensante S.A.

CHICANGANA, Germán. Geología y geomorfología del área en que se asienta el Jardín Botánico de Popayán Timbío – Cauca: Fundación Universitaria de Popayán. Sin publicar, 1999, 7 p.

CUATRECASAS, José. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. En: *Rev Acad Colomb Ciencias Exact Fis Nat.* 1958; 10:221-264

DE LOS RÍOS, A. *Estudio ultraestructural y enzimático de los simbioses liquénicas: aspectos microclimáticos y relaciones talo-sustrato*. Universidad Complutense de Madrid, 2003. Madrid, España.

DÍAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 1999. Medellín: Ed. Universidad de Antioquia.

DURÁN, Nuria. Botánica los Hongos, Algas y Líquenes. 1997. Barcelona: Centauro.

DÍAZ-ESCANDÓN, David, SOTO-MEDINA, Edier, LÜCKING, Robert y SILVERSTONE-SOPKIN, Philip. Corticolous lichens as environmental indicators of natural sulphur emissions near the sulphur mine El Vinagre (Cauca, Colombia). En: *The Lichenologist*. 2014; 46: 1-16.

GATICA, Alejandro, PEREIRA, Iris y VALLEJOS, Oscar. Líquenes epífitos: una herramienta para estudiar la continuidad ecológica en Isla Mocha, Chile. En: *Gayana Bot*, 68 (2), 2011 p. 226-235.

GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. Estimating species richness. In MAGURRAN, A.E. & MCGILL, B.J. (Eds.): *Frontiers in measuring biodiversity*. – Oxford University Press, New York, 2010, pp. 39-54.

GUETIO, Fabián y SOLARTE, Danny. Diversidad florística en el área de la corriente “WETTU” como elemento para la identificación de bancos de germoplasma “in situ” en el Jardín Botánico de Popayán. Popayán, Cauca, 2000, 210 p. Trabajo de grado para obtener el título de ecólogo. Fundación Universitaria de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

HAUCK, Markus y SPRIBILLE, M. The significance of precipitation and substrate chemistry for epiphytic lichen diversity in spruce-fir forests of the Salish Mountains, northwestern Montana. En: *Flora* 200: 2005, p 547-562.

HAWKSWORTH, David. Lichens as litmus for air pollution: a historical review. *Int J Environ Studies*. 1971, No. 1, p. 281-296.

HAWKSWORTH David, ITURRIAGA, Teresa y CRESPO, Ana. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Rev Iberoam Micol* (1). 2005, p 71-82.

IDROBO, Juieth y PERALTA, Yeny. Dispersión de semillas por murciélagos filostómidos (Phyllostomidae – Chiroptera) pertenecientes a las Subfamilias Carollinae, Stenodermatinae y Phyllostominae en la hacienda los Robles, Fundación Universitaria de Popayán, vereda Sachacoco, Municipio de Timbío, Cauca, Colombia. Tesis de pregrado en Ecología. Popayán: 2015. Fundación Universitaria de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento del Cauca. 2009, imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

KESSLER Michael. Altitudinal Zonation of Andean Cryptogam Communities. *J Biogeogr.*; 27(2). 2000, p. 275-282.

LAKATOS Michael, RASCHER, Uwe y BÜDEL, Burkhard. Functional characteristics of corticolous lichens in the understory of a tropical lowland rain forest. *New phytologist* 172: 2006, p 679–695.

LEMMON, Paul. A Spherical Densimeter for Estimating Forest Overstory Density. En: *Forest Science* 2(4), 1956, p. 314-320.

LÜCKING, Robert. Ecology of Follicolous lichens at the “Botarrama” trail (Costa Rica), a neotropical rain forest site. Part II. Patterns of diversity and area cover, and their dependence on microclimate and phorophyte species. En: *Ecotropica*, 4(1-2), 1998, p. 1-24.

LÜCKING, Robert. Líquenes folícolas de la Estación Biológica La Selva, Costa Rica: Inventario, comunidades y comparación florística de tipos de vegetación. En: *Rev. biol. Trop.*, 47 (3), 1999. Disponible en: (http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77441999000300002)

LÜCKING, Robert, ARCHER, Alan y APTROOT, André. A Word-wide key To the genus *Graphis* (Ostropales: Graphidaceae). En: *The Lichenologist* 41(4), 2009, p. 363-452.

MARTINEZ, Rosa, TUYA, Leonel, MARTINEZ, Mercedes, PÉREZ, Alberto y CÁNOVAS, Ana. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. En: *Rev. Haban. Cienc. Medic.*, 8(2), 2009, p. 1-20. Disponible en: (<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>).

MARTINS, Suzana y MARCELLI, Marcelo. Specific distribution of lichens on *Dodonaea viscosa* L. in the restinga area of Itapuã State Park in Southern Brazil. En: *Hoehnea*, 38(3), 2011. Disponible en: (http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S223689062011000300003&script=sci_arttext)

McCUNE, Bruce, GRACE, James y URBAN, Dean. Analysis of ecological communities. Oregon: MjM Software, 2002. Gleneden Beach.

MÉNDEZ, Paola y VALLEJO, Margarita. Evaluación de la presencia o ausencia de líquenes foliosos corticícolas en las especies *Pinus oocarpa* y *Heliocarpus popayanensis* en el Jardín Botánico de Popayán, Cauca. Tesis de pregrado en Ecología. Popayán: 2003. Fundación Universitaria de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

MONCADA, Bibiana y FORERO, E. El género *Pseudocyphellaria* Vain. (Lobariaceae-Ascomycetes Liquenizados) en Colombia. En: *Caldasia*, 28(2), 2006. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322006000200004

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

NASCIMBENE, Juri y MARINI, Lorenzo. Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy. En: *Journal of Biogeography*. 2015, p. 1-11. Disponible en: <http://wileyonlinelibrary.com/journal/jbi>

NASH, Thomas y OLAFSEN, Astrid. Climate change and the ecophysiological response of Arctic lichens. En: *The Lichenologist* 27: 1995, p 559-565.

NASH, Thomas. *Lichen biology*. Second Edition. 2008. New York: Cambridge University Press.

NÖSKE, Nicole. Effekte anthropogener Störung auf die Diversität Cryptogamischer Epiphyten (Flechten, Moose) in einem Bergregenwald in Südecuador. Ph.D. Thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Georg-August-Universität zu Göttingen, 2004, Alemania.

ORELLANA-LARA J. Determinación de índices de diversidad florística arbórea en las parcelas permanentes de muestreo del valle de Sacta. 2009, Universidad mayor de San Simón. Facultad De Ciencias Agrícolas, Forestales Y Veterinarias. Escuela de ciencias Forestales, Cochabamba, Bolivia.

PÉREZ, A. y WATTEINJNE, B. Estructura de una comunidad de líquenes y morfología del género *Sticta* (STICTACEAE) en un gradiente altitudinal. *Acta Biol. Colomb.*, 14 (3), 2009 p. 157-170. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/14059/3/1792-50157-1-PB.pdf>

RINCÓN- ESPITIA, Ángela., AGUIRRE, Jaime y Lücking Robert. Líquenes corticícolas de Caribe Colombiano. En: *Open Journal System Caldasia*, 2011. Disponible en (<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36394/38014>)

RIVAS-PLATA, E., LÜCKING, Robert. y LUMBSCH, H. When family matters: an analysis of Thelotremaaceae (Lichenized Ascomycota: Ostropales) as bioindicators of ecological continuity in tropical forests. En: *Biodivers. Conserv.* 17: 2008, p 1319-1351.

SALDARRIAGA, Alejandra y RESTREPO, Manuela. Uso del Yarumo (*Cecropia angustifolia* Trécul.) por aves en una zona del municipio de Armenia, Quindío. 2009. Memorias V Congreso Colombiano de Botánica, Pasto.

SHANNON, Claude; Weaver, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: Editorial University Illinois Press, Urbana, IL, 1949. 132 pp. ISBN 978-0-252-72548-7.

SIPMAN Harrie. Lichen zonation in the Parque Los Nevados Transect. In. T. Van Der Hammen, S. Díaz-Piedrahita & V. J. Álvarez (editors), La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Segunda Parte). Stud. Trop. En: Andean Ecosyst. 3. Berlin, Stuttgart: Cramer; 1989; 461-483.

SIPMAN, Harrie, HEKKING, W y AGUIRRE, Jaime. Checklist of lichenized and lichenicolous fungi from Colombia. En: Biblioteca José Jerónimo Triana, 2006, no. 20, 235 pp.

SIPMAN, Harrie y APTROOT, A. 2007. Lichen biodiversity in New Guinea.

SOTO-MEDINA, Edier, CHILITO, Luis y PEÑA, Adriana. Guía Líquenes del Jardín Botánico de Popayán. The Field Museum, 2014. Disponible en: <http://fieldguides.fieldmuseum.org/es/gu%C3%ADas/gu%C3%ADa/614>

SOTO-MEDINA, Edier, LÜCKING, Robert, y BOLAÑOS-ROJAS, Ana. Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia. En: Rev. Biol. Trop., 2012, vol. 60 no. 2, p. 843-856. Disponible en: (http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S003477442012000200026&script=sci_arttext).

SOTO-MEDINA, Edier, LONDOÑO-LEMUS, Viviana y DÍAZ-ESCANDÓN, David. Epiphytes from a forest type transition zone in the Choco biogeographic region, Valle del Cauca, Colombia. En: En: Rev. Biol. Trop., 2015. En impresión

SOUZA, Virginia y GARCÍA, Leopoldo. Descripción del microclima en dos comunidades líquénicas del SE semiárido de la península ibérica. En: Nimbus, 7(8), 2001, p 187-212.

VARGAS, Jesús. Estructura y composición de la comunidad de aves (Passeriformes y Apodiformes) pertenecientes al piso climático sub-andino en la Fundación Universitaria de Popayán sede Los Robles, Popayán, Cauca. Tesis de pregrado en Ecología. Popayán: 2014. Fundación Universitaria de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

VARGAS W. Guía Ilustrada de las Plantas de las Montañas del Quindío y los Andes Centrales. 2002. Manizales, Colombia.

WOLF, J. Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the northern Andes. En: Ann. Mo. Bot. Gard. 80: 1993, p 928-960.

15. GLOSARIO

Apotecio: Cuerpo fructífero en forma de disco o copa

Asco: Célula en forma de saco que contiene y producen las ascosporas de origen sexual.

Ascoma: Cualquier esporocarpio con esporas

Ascomicete: Clase de hongos en la cual las esporas son desarrolladas en esporangios llamados ascos

Ascosporas: Espora de origen sexual

Biatorino: Apotecio con la márgenes del mismo color del disco, no carbonoso.

Cilio: Prolongaciones filamentosas del córtex, situadas en el margen de los lóbulos o en el reborde talino de apotecios de líquenes foliosos y fruticosos.

Cifela: Depresión del córtex de los líquenes

Conidio: Porción separable de una hifa que funciona como propágulo asexual, no móvil

Corteza: Capa (s) externas de hifas del talo, usualmente sin conidios

Corticícola: Aplicase a los epífitos que se desarrollan sobre la corteza de los árboles y arbustos como líquenes, musgos y antófitos diversos.

Cuerpo fructífero: Estructura reproductora del hongo, cuya función es dispersar las esporas. Los hay de tres tipos: apotecios (en forma de disco o copa), peritecios (como globos) y lirelas (lineares).

Esporas: Pequeña unidad de propagación, unicelular o pluricelular, asexual o sexual, móvil o inmóvil, que funciona como una semilla, aunque difiere de ésta porque una espora no contiene un embrión preformado.

Esporocarpio: Órgano que produce espora y representa el cuerpo fructificante

Hialino: Sin color

Isidio: Propágulo corticado de los líquenes de forma cilíndrica o ramificada

Lecanorino: Apotecios con márgenes del mismo color del talo

Lirela: Cuerpos fructíferos largos y estrechos, simples o ramificados.

Máculas: Pequeñas manchas blancuzcas que presenta la superficie superior de un talo.

Muriforme: Esporas con varios septos transversales y longitudinales que las dividen en numerosas células, dándole el aspecto de una pared de ladrillos.

Peritecio: Cuerpo fructífero de forma globosa, que posee un poro por donde salen las esporas.

Pseudicifela: En los líquenes, tipo de cífela en la falta el córtex y aflora la médula

Rizina: Filamentos formados por hifas, generalmente muy ramificados, que crecen sobre la superficie inferior del talo de un líquen folioso y le sirven para fijarse al sustrato.

Soralio: Grupos de soredios en la superficie o márgenes del talo.

Soredio: Cuerpecillos microscópicos más o menos granulosos que crecen en la superficie del talo; formados por grupos de algas rodeadas de hifas. Permiten la reproducción vegetativa.

Talo: Parte del líquen que consiste en hifas compactas y células del alga, formando una estructura en forma de costra, arbusto u hojas.

Tomento: Tipo de indumento cubierto de pelos entremezclados y densos

16. ANEXOS

Anexo 1: Composición florística del Jardín Botánico de Popayán

Familia	Género	Especie
Agavaceae	<i>Furcraea</i>	sp.
Acanthaceae	<i>Hypoestes</i>	<i>phyllostachya</i>
Amaryllidaceae	<i>Eucharis</i>	sp.
Anacardaceae	<i>Toxicodendrum</i>	<i>striatum</i>
Apiaceae	<i>Hydrocotyle</i>	sp.
Araceae	<i>Xanthosoma</i>	sp.
	<i>Anthurium</i>	sp.
	<i>Philodendron</i>	sp.
	<i>Spathiphyllum</i>	sp.
Araliaceae	<i>Oreopanax</i>	sp.
Asteraceae	<i>Acmella</i>	sp.
	<i>Bidens</i>	<i>pilosa</i>
	<i>Baccharis</i>	<i>trinervis</i>
	<i>Emilia</i>	<i>coccinea</i>
	<i>Chaptalia</i>	<i>nutans</i>
	<i>Heliopsis</i>	<i>oppositifolia</i>
	<i>Eleutheranthera</i>	<i>ruderalis</i>
	<i>Pseudelephantopus</i>	sp.
	<i>Elephantopus</i>	sp.
	<i>Taraxacum</i>	sp.
<i>Vernonia</i>	sp.	
Balsaminaceae	<i>Impatiens</i>	<i>balsamina</i>
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>acuminata</i>
Bignoniaceae	<i>Tecoma</i>	<i>stans</i>
	<i>Handroanthus</i>	<i>chrysanthus</i>
	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i>
	<i>Jacaranda</i>	<i>caucana</i>
Bromeliaceae	<i>Guzmania</i>	sp.
	<i>Tillandsia</i>	sp.
Capripholiaceae	<i>Viburnum</i>	sp.
Clethraceae	<i>Clethra</i>	sp.
Chloranthaceae	<i>Hedyosmun</i>	sp.
Clusiaceae	<i>Clusia</i>	sp.
Commelinaceae	<i>Commelina</i>	sp.
	<i>Clallisia</i>	<i>gracilis</i>
	<i>Tradescantia</i>	sp.
Costaceae	<i>Costus</i>	sp.
Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	sp.

	<i>Rhynchospora</i>	sp.
Cunnoniaceae	<i>Weinmannia aff.</i>	<i>pubescens</i>
Cupresaceae	<i>cupressus</i>	sp.
Euphorbiaceae	<i>Acalypha</i>	sp.
	<i>Alchornea</i>	sp.
	<i>Euphorbia</i>	sp.
	<i>Ricinus</i>	<i>communis</i>
Fabaceae	<i>Centrosema</i>	sp.
	<i>Desmodium</i>	sp.
	<i>Zornia</i>	sp.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>humboldtii</i>
Flacourtiaceae	<i>Xylosma</i>	sp.
	<i>Casearia</i>	sp.
Gesneriaceae	<i>Besleria</i>	sp.
Heliconiaceae	<i>Heliconia</i>	sp.
Hymenophyllaceae	<i>Hymenophyllum</i>	sp.
Hypericaceae	<i>Vismia</i>	sp.
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	sp.
	<i>Hyptis</i>	sp.
Lauraceae	<i>Cinnamomun</i>	sp.
	<i>Nectandra</i>	<i>caucana</i>
	<i>Nectandra</i>	<i>mollis</i>
	<i>Nectandra</i>	<i>reticulata</i>
	<i>Ocotea</i>	sp.
	<i>Persea</i>	sp.
Lycopodiaceae	<i>Lycopodium</i>	sp.
Lythraceae	<i>Cuphea</i>	sp.
	<i>Lafoensia</i>	<i>acuminata</i>
Malpighiaceae	<i>Stigmaphyllon</i>	sp.
Malvaceae	<i>Heliocarpus</i>	<i>americanus</i>
	<i>Heliocarpus</i>	<i>popayanensis</i>
	<i>Ochroma</i>	<i>pyramidale</i>
	<i>Pavonia</i>	sp.
	<i>Sida</i>	sp.
Melastomataceae	<i>Clidemia</i>	sp.
	<i>Meriania</i>	sp.
	<i>Miconia</i>	<i>lehmannii</i>
	<i>Miconia</i>	<i>notabilis</i>
Menispermaceae	<i>Cissampelos</i>	sp.
Mimosaceae	<i>Inga</i>	sp.
	<i>Mimosa</i>	sp.
Moraceae	<i>Ficus</i>	sp.
Myrtaceae	<i>Myrcia</i>	sp.

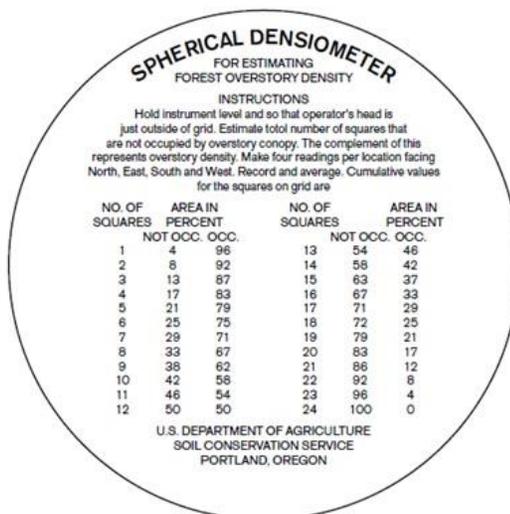
	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i>
	<i>Ztzygium</i>	<i>jambos</i>
Orquidaceae	<i>Ada</i>	sp.
	<i>Anathallis</i>	<i>sclerophylla</i>
	<i>Anguloa</i>	sp.
	<i>Brassia</i>	<i>aurantiaca</i>
	<i>Brassia</i>	<i>glumacea</i>
	<i>Brassia</i>	sp.
	<i>Campylocentrum</i>	sp.
	<i>Catasetum</i>	sp.
	<i>Cattleya</i>	<i>mendelli</i>
	<i>Cattleya</i>	<i>quadricolor</i>
	<i>Cattleya</i>	<i> trianae</i>
	<i>Cattleya</i>	<i>Trianae var. sangre toro</i>
	<i>Cattleya</i>	<i>warscewiczii</i>
	<i>Coelogyne</i>	sp.
	<i>Comparettia</i>	<i>falcata</i>
	<i>Dendrobium</i>	<i>nobile</i>
	<i>Dryadella</i>	sp.
	<i>Encyclia</i>	sp.
	<i>Epidendrum</i>	<i>radicans</i>
	<i>Erycina</i>	<i>pusilla</i>
	<i>Laelia</i>	<i>colombiana</i>
	<i>Lephantes</i>	<i>tracheia</i>
	<i>Mapinguari</i>	<i>desvauxianus</i>
	<i>Masdevallia</i>	<i>bicolor</i>
	<i>Maxillaria</i>	<i>procurrens</i>
	<i>Maxilariella</i>	<i>guareimensis</i>
	<i>Miltonia</i>	<i>moreliana</i>
	<i>Mormodes</i>	sp.
	<i>Myoxanthus</i>	<i>cimex</i>
	<i>Oncidium</i>	<i>pictum</i>
	<i>Oncidium</i>	sp.
	<i>Ornithidium</i>	<i>pendulum</i>
	<i>Phauis</i>	sp.
	<i>Pholidota</i>	sp.
	<i>Phragmipedium</i>	<i>schlimii</i>
	<i>Phragmipedium</i>	<i>longifolium</i>
	<i>Pleurothallis</i>	sp.
	<i>Prosthechea</i>	<i>fragans</i>
	<i>Prosthechea</i>	<i>vespa</i>
	<i>Rodriguezia</i>	<i>lanceolata</i>
<i>Rodriguezia</i>	<i>granadensis</i>	

	<i>Scaphyglottis</i>	<i>violacea</i>
	<i>Schomburgkia</i>	sp.
	<i>Sobralia</i>	sp.
	<i>Specklinia</i>	<i>costaricensis</i>
	<i>Stanhopea</i>	sp.
	<i>Stelis</i>	sp.
	<i>Trichosalpinx</i>	sp.
	<i>Tricophilia</i>	sp.
	<i>Trizeuxis</i>	<i>falcata</i>
	<i>Xylobium</i>	sp.
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	sp.
Passifloraceae	<i>passiflora</i>	sp.
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>patula</i>
Piperaceae	<i>piper</i>	sp.
	<i>peperomia</i>	sp.
Poaceae	<i>Bambusa</i>	<i>vulgaris</i>
	<i>Brachiaria</i>	sp.
	<i>Cynodon</i>	sp.
	<i>Guadua</i>	<i>angustifolia</i>
	<i>Hyparrhenia</i>	sp.
	<i>Panicum</i>	sp.
	<i>Poa</i>	sp.
Polygalaceae	<i>Polygala</i>	sp.
Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	sp.
Rubiaceae	<i>Cococypselum</i>	sp.
	<i>Hoffmania</i>	sp.
	<i>Ladenbergia</i>	sp.
	<i>Palicourea</i>	<i>anceps</i>
	<i>Palicourea</i>	<i>angustifolia</i>
	<i>Palicourea</i>	<i>crocea</i>
	<i>Psychotria</i>	sp.
<i>Spemacocce</i>	sp.	
Saurauiaceae	<i>Saurauia</i>	sp.
Sellaginaceae	<i>Sellaginella</i>	sp.
Schizacaceae	<i>Schizaeae</i>	sp.
Solanaceae	<i>Solanum</i>	sp.
Styracaceae	<i>Styrax</i>	sp.
Tiliaceae	<i>Triunffeta</i>	<i>mollissima</i>
Verbenaceae	<i>Duranta</i>	sp.
	<i>Lantana</i>	<i>camara</i>
	<i>Lantana</i>	<i>canescens</i>
	<i>Strachytharphetha</i>	sp.
	<i>Verbena</i>	sp.

Ulmaceae	<i>Trema</i>	<i>micrantha</i>
Zingiberaceae	<i>Renealmia</i>	sp.

Fuente: Tomada del Herbario Álvaro Fernández Pérez (Baca y Lozano; Méndez & Vallejo, 2003).
Actualizado por Chilito (2015) theplantlist.org.

Anexo 2: Modelo de estimación de cobertura y apertura de dosel en el Densiómetro esférico



Fuente: Manual de manejo Densiómetro esférico (Lemmon, 1957).

Anexo 3: Ficha fitosociológica para líquenes

Fecha: _____	Localidad: _____	Pto. Muestreo: _____
Nº individuo: _____	Forófito: _____	Estación: _____
CAP: _____	Coordenadas: N _____ W _____	
Tº ambiente (°C) :	Max _____	Min _____
Humedad Relativa:	Max _____	Min _____
Luminosidad: _____	_____	pH: _____

Nº	Especie liquen	Cobertura (cm ²)	Color	Estructuras reproductivas
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Otras anotaciones _____				

Fuente: Luis Gerardo Chilito López

Anexo 4: Características de estructuras reproductivas de los líquenes Jardín Botánico de Popayán

Especies	1 septo	>1 septo simples	Esporas Hialinas	Esporas oscuras	Apotecios negros	Apotecios claros	Lirelas	Peritecio	Costroso	Folioso	Fruticoso	Gelatinoso	Escuamuloso
<i>Parmotrema</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Parmotrema</i> sp.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Graphis scripta</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Hypotrachyna</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Herpothallon rubroechinatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Herpothallon rubrocinctum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Coenogonium</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Coenogonium magdalenae</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Herpothallon</i> cf. <i>japonicum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i>	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Pertusaria</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
<i>Bacidia medialis</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Graphis inversa</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Coniarthonia</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Malmidea</i> cf. <i>tratiana</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Malmidea fuscella</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Hypotrachyna</i> sp.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Bacidia</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Usnea</i> sp.	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Heterodermia leucomela</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Indeterminada 1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Diorygma</i> sp.	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Leptogium phyllocarpum</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Leptogium azureum</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Heterodermia kurokawae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Crocodia aurata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Sticta</i> aff. <i>impressula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Physcia erumpens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Indeterminada 2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Phyllopsora</i> cf. <i>nigrocincta</i>	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
Indeterminada 3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

<i>Porina</i> sp.	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
<i>Graphis argentata</i>	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Herpothallon pustulatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Phyllopsora</i> sp.	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
<i>Brigantiaea leucoxantha</i>	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
<i>Coccocarpia palmicola</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Sticta</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Heterodermia japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Sticta subfilicinella</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Coccocarpia</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Parmeliella</i> cf. <i>tritophylla</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Leptogium</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Sticta cometiella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Sticta plumbeociliata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Canomaculina</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Lecanora varia</i>	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
<i>Heterodermia pseudospeciosa</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Heterodermia podocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Ramalina</i> sp.	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Heterodermia speciosa</i>	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
<i>Physcia</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Physcia</i> sp. 2	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Lecanora</i> sp.	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
<i>Graphis aurita</i>	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>Haematomma</i> sp.	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Ramboldia russula</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Haematomma flexuosum</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Teloschistes flavicans</i>	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Parmotrema cetratum</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Ramalina celastri</i>	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Protoparmelia multifera</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Phaeographis</i> sp.	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-

* (-) Ausencia, (1) presencia

Anexo 5: Cobertura de especies por forófito, frecuencia de ocurrencia por forófito, riqueza de cada forófito, total de la cobertura líquénica del área.

Especies	Estación 1					Estación 2					Estación 3					Estación 4					Estación 5					Estación 6				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
sp1 <i>Parmotrema</i> sp. 1	112	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp2 <i>Parmotrema</i> sp. 2	100	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp3 <i>Graphis scripta</i>	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	0	212	0	0	0	0	0	0	
sp4 <i>Hypotrachyna</i> sp. 1	32	0	12	0	16	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp5 <i>Herpothallon rubroechinatum</i>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp6 <i>Herpothallon rubrocinctum</i>	4	0	0	4	4	0	20	64	4	4	0	0	20	4	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8	0	10	0	0	
sp7 <i>Coenogonium</i> sp.	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp8 <i>Coenogonium magdalanae</i>	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp9 <i>Herpothallon</i> cf. <i>japonicum</i>	0	8	4	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp10 <i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i>	0	10	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp11 <i>Pertusaria</i> sp.	0	8	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	32	0	0	0	0	0	52	0	0	32	0	0	40	0	0	36	0	
sp12 <i>Bacidia medialis</i>	0	18	16	12	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	8	4	8	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
sp13 <i>Graphis inversa</i>	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp14 <i>Coniarthonia</i> sp.	0	160	24	30	0	40	0	44	0	0	56	48	44	0	48	0	0	24	68	16	248	28	120	0	0	20	0	16	0	
sp15 <i>Malmidea</i> cf. <i>tratiana</i>	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp16 <i>Malmidea fuscella</i>	0	8	16	36	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	16	0	
sp17 <i>Hypotrachyna</i> sp. 2	0	8	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp18 <i>Bacidia</i> sp.	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	10	
sp19 <i>Usnea</i> sp.	0	0	32	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	
sp20 <i>Heterodermia leucomela</i>	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp21 Indeterminada 1	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp22 <i>Diorygma</i> sp.	0	0	0	24	0	176	0	184	0	424	272	268	16	56	40	76	0	40	120	124	256	16	160	80	10	44	164	84	88	40
sp23 <i>Leptogium phyllocarpum</i>	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	
sp24 <i>Leptogium azureum</i>	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp25 <i>Heterodermia kurokawae</i>	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp26 <i>Crocodia aurata</i>	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp27 <i>Sticta</i> aff. <i>impersula</i>	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp28 <i>Physcia erumpens</i>	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp 29 Indeterminada 2	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp30 <i>Phyllopsora</i> cf. <i>negrocincta</i>	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	8	0	0	4	0	8	60	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	
sp31 Indeterminada 3	0	0	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
sp32 <i>Porina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Estación 7					Estación 8					Estación 9					Estación 10					Estación 11					Total	Frecuencia
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	16	288	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164	2
36	0	68	0	0	0	0	0	20	16	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	756	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	24	80	204	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1
0	8	8	8	8	0	0	0	0	0	4	4	8	16	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	230	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	10	0	8	0	16	0	0	0	0	88	6
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	100	0	0	0	24	0	16	0	24	560	13
0	24	10	0	108	0	0	0	16	16	16	0	0	0	0	0	40	0	12	0	0	12	0	0	0	386	19
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1
0	0	0	0	0	140	88	68	72	100	100	25	64	120	0	0	0	64	100	0	0	0	0	16	80	2071	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1
0	24	20	0	20	0	0	16	0	0	80	0	0	0	0	12	0	0	128	0	4	16	0	0	40	388	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	80	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	4	0	48	0	0	0	0	0	0	114	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	12	8	0	56	16	400	140	696	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	16	0	0	0	24	0	76	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	1
48	32	120	128	56	48	80	80	100	60	56	88	48	100	0	16	0	48	80	72	0	0	20	0	0	4042	42
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	20	144	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	130	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	16	40	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	12	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	1

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1	
24	0	0	88	0	4	48	16	16	24	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	628	16	
0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	424	9	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1	
8	8	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	7	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	88	2	
0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	8	4	0	0	0	16	0	112	16	0	8	0	16	18	0	238	12	
0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	5	
0	0	0	0	0	16	12	0	10	0	10	8	8	0	16	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	96	9	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	24	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	40	2	
0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	60	100	60	40	0	16	80	0	404	7	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	12	0	8	0	0	0	16	64	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	80	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	12	0	0	20	48	3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	24	0	0	0	0	0	44	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	20	0	0	0	0	0	36	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	16	40	0	94	3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	12	16	0	0	68	3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	24	0	0	0	36	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	40	0	46	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	16	28	3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	40	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	1
5	5	7	3	5	6	5	4	7	6	10	6	5	4	6	4	11	10	13	11	11	10	6	11	14	13997		

Anexo 6: Especies liquénicas registradas en el estudio

Familia	Género	Especie
Ramalinaceae	<i>Bacidia</i>	cf. <i>medialis</i> (Tuck.) Zahlbr.
Ramalinaceae	<i>Bacidia</i>	sp.
Brigantiaeaceae	<i>Brigantiaea</i>	<i>leucoxantha</i> (Spreng.) R.Sant. & Hafellner
Parmeliaceae	<i>Canomaculina</i>	sp.
Coccocarpiaceae	<i>Coccocarpia</i>	<i>palmicola</i> (Spreng.) Arv. & D.J.Galloway
Coccocarpiaceae	<i>Coccocarpia</i>	sp.
Coenogoniaceae	<i>Coenogonium</i>	<i>magdalenae</i> Rivas Plata, Lücking & Lizano
Coenogoniaceae	<i>Coenogonium</i>	sp.
Arthoniaceae	<i>Coniarthonia</i>	sp.
Lobariaceae	<i>Crocodia</i>	<i>aurata</i> (Ach.)
Graphidaceae	<i>Diorygma</i>	sp.
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	<i>argentata</i> Lücking & Umaña
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	<i>aurita</i> Eschw.
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	cf. <i>rimulosa</i> (Mont.) Trevis.
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	<i>inversa</i> R.C. Harris
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	<i>scripta</i> L. (Ach.)
Haematommataceae	<i>Haematomma</i>	<i>flexuosum</i> Hillm.
Haematommataceae	<i>Haematomma</i>	sp.
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	cf. <i>japonicum</i> (Zahlbr.) G. Thor
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	<i>pustulatum</i> G. Thor
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	<i>rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot, Lücking & G. Thor
Arthoniaceae	<i>Herpothallon</i>	<i>rubroechinatum</i> Frisch & G. Thor
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>japonica</i> (Sato) Swinscow & Krog
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>kurokawae</i> Trass
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>leucomela</i> (L.) Poelt
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>podocarpa</i> (Bél.) D.D.Awasthi
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>pseudospeciosa</i> (Kurok.) W.L. Culb.
Physciaceae	<i>Heterodermia</i>	<i>speciosa</i> (Wulfen) Trevis.
Parmeliaceae	<i>Hypotrachyna</i>	sp. 1
Parmeliaceae	<i>Hypotrachyna</i>	sp. 2
Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	sp.
Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	<i>varia</i> (Hoffm.) Ach.
Collemaataceae	<i>Leptogium</i>	<i>azureum</i> (Sw.) Mont.
Collemaataceae	<i>Leptogium</i>	<i>phyllocarpum</i> (Pers.) Nyl.

Collemataceae	<i>Leptogium</i>	sp.
Malmideaceae	<i>Malmidea</i>	cf. <i>tradiana</i> Kalb & Mongkolsuk.
Malmideaceae	<i>Malmidea</i>	<i>fuscella</i> (Mull. Arg.) Kalb & Lücking
Pannariaceae	<i>Parmeliella</i>	cf. <i>tritophylla</i> (Ach.) Müll. Arg.
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i>	<i>cetratum</i> (Ach.) Hale
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i>	sp. 1
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i>	sp. 2
Pertusariaceae	<i>Pertusaria</i>	sp.
Graphidaceae	<i>Phaeographis</i>	sp.
Ramalinaceae	<i>Phyllopsora</i>	cf. <i>nigrocincta</i> Timdal
Ramalinaceae	<i>Phyllopsora</i>	sp.
Physciaceae	<i>Physcia</i>	<i>erumpens</i> Moberg
Physciaceae	<i>Physcia</i>	sp. 1
Physciaceae	<i>Physcia</i>	sp. 2
Porinaceae	<i>Porina</i>	sp.
Parmeliaceae	<i>Protoparmelia</i>	<i>multifera</i> (Nyl.) Kantvilas, Papong & Lumbsch
Ramalinaceae	<i>Ramalina</i>	<i>celastri</i> (Spreng.) Krog & Swinscow
Ramalinaceae	<i>Ramalina</i>	sp.
Lecanoraceae	<i>Ramboldia</i>	<i>russula</i> (Ach.) Kalb, Lumbsch & Elix
Lobariaceae	<i>Sticta</i>	<i>plumbeociliata</i> Moncada & Lücking
Lobariaceae	<i>Sticta</i>	aff. <i>impressula</i> (Nyl.) Zahlbr.
Lobariaceae	<i>Sticta</i>	<i>cometiella</i> Vain.
Lobariaceae	<i>Sticta</i>	sp.1
Lobariaceae	<i>Sticta</i>	<i>subfilicinella</i> Moncada & Coca
Teloschistaceae	<i>Teloschistes</i>	<i>flavicans</i> (Sw.) Norm.
Parmeliaceae	<i>Usnea</i>	sp.

Anexo 7: Georreferenciación puntos de muestreo

Georreferenciación puntos de muestreo			
Punto	Norte	Oeste	Altitud (m.s.n.m.)
1	N 02°23'11,5"	W 076°39'12,5"	1701
2	N 02°23'11,5"	W 076°39'12,4"	1701
3	N 02°23'23,2"	W 076°39'25,1"	1701
4	N 02°23'23,2"	W 076°39'24,8"	1701
5	N 02°23'33,9"	W 076°39'24,6"	1705
6	N 02°23'20,9"	W 076°39'19,8"	1788
7	N 02°23'20,7"	W 076°39'19,4"	1818
8	N 02°23'20,2"	W 076°39'19,9"	1823
9	N 02°23'20,2"	W 076°39'19,2"	1823
10	N 02°23'20,8"	W 076°39'18,9"	1822
11	N 02°23'15,7"	W 076°39'17,3"	1830
12	N 02°23'15,8"	W 076°39'17,1"	1826
13	N 02°23'15,5"	W 076°39'16,9"	1831
14	N 02°23'15,2"	W 076°39'16,9"	1833
15	N 02°23'15,4"	W 076°39'16,9"	1833
16	N 02°23'17,9"	W 076°39'25,3"	1792
17	N 02°23'13,2"	W 076°39'23,0"	1810
18	N 02°23'13,2"	W 076°39'23,1"	1807
19	N 02°23'13,2"	W 076°39'23,0"	1814
20	N 02°23'13,3"	W 076°39'23,4"	1813
21	N 02°23'13,3"	W 076°39'23,4"	1848
22	N 02°23'10,2"	W 076°39'20,6"	1836
23	N 02°23'10,4"	W 076°39'21,1"	1834
24	N 02°23'10,7"	W 076°39'21,2"	1837
25	N 02°23'10,9"	W 076°39'21,5"	1826
26	N 02°23'01,8"	W 076°39'22,0"	1740
27	N 02°23'02,3"	W 076°39'22,7"	1805
28	N 02°23'02,0"	W 076°39'22,8"	1804
29	N 02°23'02,2"	W 076°39'22,3"	1804
30	N 02°23'02,5"	W 076°39'22,3"	1804
31	N 02°23'01,2"	W 076°39'22,7"	1796
32	N 02°23'01,3"	W 076°39'22,7"	1799
33	N 02°23'01,3"	W 076°39'22,9"	1799
34	N 02°23'01,3"	W 076°39'23,2"	1798

35	N 02°23'01,2"	W 076°39'23,9"	1794
36	N 02°23'01,4"	W 076°39'24,5"	1796
37	N 02°23'01,6"	W 076°39'24,9"	1799
38	N 02°23'01,6"	W 076°39'25,0"	1799
39	N 02°23'01,5"	W 076°39'25,2"	1797
40	N 02°23'01,3"	W 076°39'25,7"	1800
41	N 02°22'59,2"	W 076°39'28,1"	1790
42	N 02°22'59,4"	W 076°39'28,0"	1791
43	N 02°22'59,5"	W 076°39'29,1"	1791
44	N 02°22'59,6"	W 076°39'29,0"	1792
45	N 02°23'00,1"	W 076°39'29,1"	1795
46	N 02°23'11,1"	W 076°39'21,0"	1826
47	N 02°23'15,1"	W 076°39'27,1"	1828
48	N 02°23'15,0"	W 076°39'27,2"	1828
49	N 02°23'15,1"	W 076°39'27,1"	1828
50	N 02°23'14,7"	W 076°39'26,9"	1826
51	N 02°23'11,8"	W 076°39'29,8"	1823
52	N 02°23'11,9"	W 076°39'29,8"	1822
53	N 02°23'12,9"	W 076°39'29,7"	1823
54	N 02°23'12,0"	W 076°39'29,8"	1822
55	N 02°23'13,8"	W 076°39'29,7"	1822

Anexo 8: Modelo Etiquetas Herbario Álvaro Fernández Pérez



HERBARIO ALVARO FERNÁNDEZ PÉREZ
HAFP

GRAPHIDACEAE

Graphis inversa / R.C. Harris
Det. L. Chilito /2015

Líquén costroso de color amarillo, con presencia de lirelas negras. Esporas con 7 septos, hialinas. Reacción KOH + púrpura en el himenio. Crece sobre varios sustratos, corteza, roca, madera. En micrositios abiertos a semiabiertos.

Colombia Cauca, Municipio de Timbío. Jardín Botánico de Popayán. Estación 1- forófito 2, zona de arboretum, micrositio abierto. Tesis de grado. Distribución y abundancia de líquenes corticícolas bajo influencia de condiciones microclimáticas en el Jardín Botánico de Popayán, Departamento del Cauca. Programa de Ecología. Fundación Universitaria de Popayán.

Alt. 1701 m.s.n.m.
N 02° 23' 11,5"
W 076° 39' 12,4"

LGCHL 063

Chilito, L.

09/03/2015

Anexo 9: Índice de Shannon-Weaver

Especies	n	(n/N) (pi)	LN (n/N)	(n/N)*LN(n/N)*(-1)
sp1 <i>Parmotrema</i> sp .1	4	0,0115942	-4,45725006	0,051678262
sp2 <i>Parmotrema</i> sp. 2	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp3 <i>Graphis scripta</i>	8	0,02318841	-3,76410288	0,087283545
sp4 <i>Hypotrachyna</i> sp. 1	7	0,02028986	-3,89763427	0,079082434
sp5 <i>Herpothallon rubroechinatum</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp6 <i>Herpothallon rubrocinctum</i>	22	0,06376812	-2,75250196	0,175521864
sp7 <i>Coenogonium</i> sp.	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp8 <i>Coenogonium magdalenae</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp9 <i>Herpothallon</i> cf. <i>japonicum</i>	4	0,0115942	-4,45725006	0,051678262
sp10 <i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i>	6	0,0173913	-4,05178495	0,070465825
sp11 <i>Pertusaria</i> sp.	13	0,03768116	-3,27859506	0,123541263
sp12 <i>Bacidia medialis</i>	19	0,05507246	-2,89910544	0,159660879
sp13 <i>Graphis inversa</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp14 <i>Coniarthonia</i> sp.	30	0,08695652	-2,44234704	0,212378003
sp15 <i>Malmidea</i> cf. <i>tratiana</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp16 <i>Malmidea fuscella</i>	16	0,04637681	-3,07095569	0,142421134
sp17 <i>Hypotrachyna</i> sp. 2	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp18 <i>Bacidia</i> sp.	8	0,02318841	-3,76410288	0,087283545
sp19 <i>Usnea</i> sp.	10	0,02898551	-3,54095932	0,102636502
sp20 <i>Heterodermia leucomela</i>	5	0,01449275	-4,2341065	0,061363862
sp21 Indeterminada 1	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp22 <i>Diorygma</i> sp.	42	0,12173913	-2,1058748	0,256367367
sp23 <i>Leptogium phyllocarpum</i>	4	0,0115942	-4,45725006	0,051678262
sp24 <i>Leptogium azureum</i>	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp25 <i>Heterodermia kurokawae</i>	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp26 <i>Crocodia aurata</i>	5	0,01449275	-4,2341065	0,061363862
sp27 <i>Sticta</i> aff. <i>impressula</i>	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp28 <i>Physcia erumpens</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp 29 Indeterminada 2	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp30 <i>Phyllopsora</i> cf. <i>nigrocincta</i>	8	0,02318841	-3,76410288	0,087283545
sp31 Indeterminada 3	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp32 <i>Porina</i> sp.	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp33 <i>Graphis argentata</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp34 <i>Herpothallon pustulatum</i>	16	0,04637681	-3,07095569	0,142421134
sp35 <i>Phyllopsora</i> sp.	9	0,02608696	-3,64631984	0,095121387
sp36 <i>Brigantiaea leucoxantha</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781

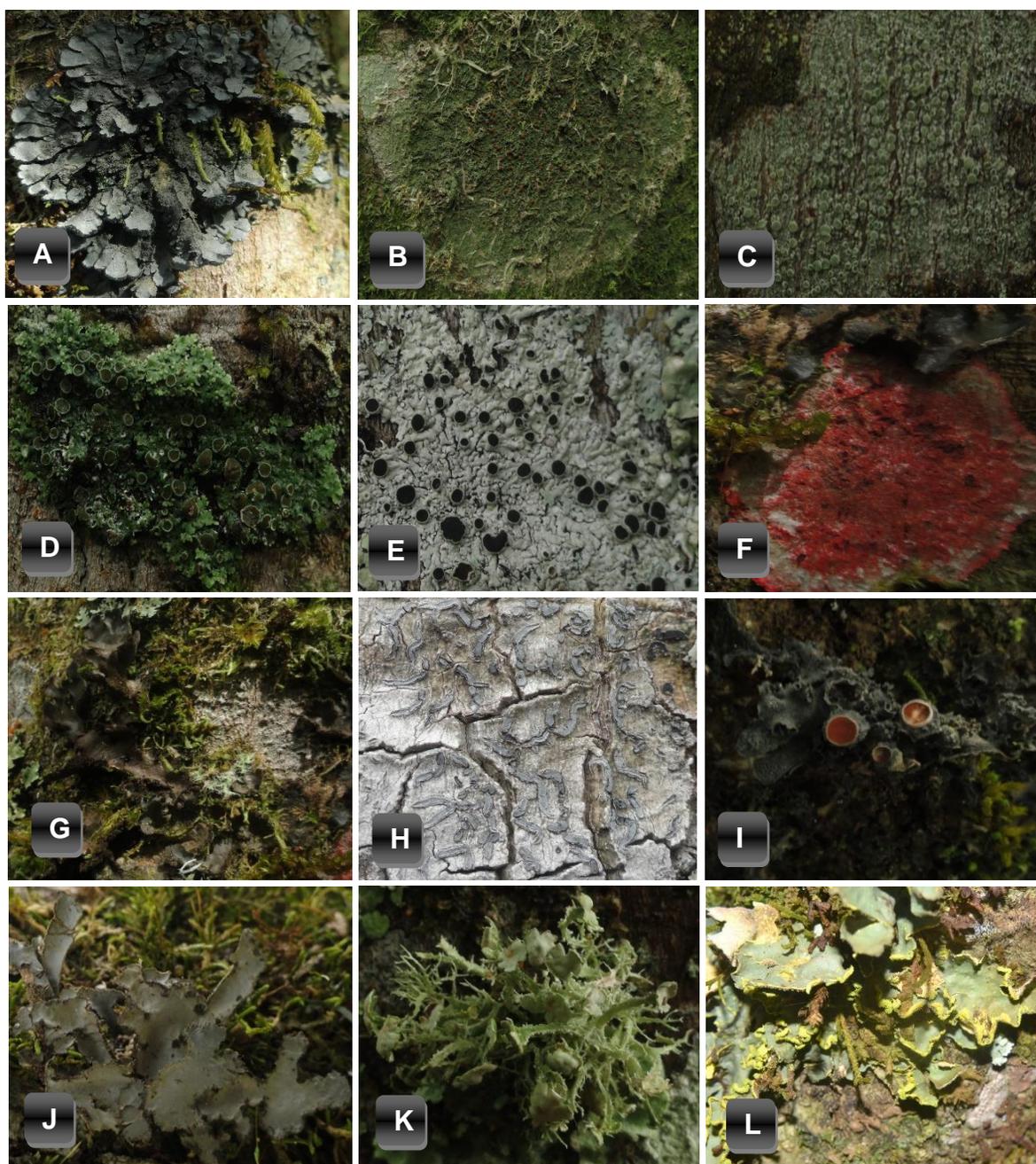
sp37 <i>Coccocarpia palmicola</i>	7	0,02028986	-3,89763427	0,079082434
sp38 <i>Sticta</i> sp.1	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp39 <i>Heterodermia japonica</i>	12	0,03478261	-3,35863777	0,116822183
sp40 <i>Sticta subfilicinella</i>	5	0,01449275	-4,2341065	0,061363862
sp41 <i>Coccocarpia</i> sp.	9	0,02608696	-3,64631984	0,095121387
sp42 <i>Parmeliella cf. tritophylla</i>	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp43 <i>Leptogium</i> sp.	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp44 <i>Sticta cometiella</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp45 <i>Sticta plumbeociliata</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp46 <i>Canomaculina</i> sp.	7	0,02028986	-3,89763427	0,079082434
sp47 <i>Lecanora varia</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp48 <i>Heterodermia pseudospeciosa</i>	4	0,0115942	-4,45725006	0,051678262
sp49 <i>Heterodermia podocarpa</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp50 <i>Ramalina</i> sp.	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp51 <i>Heterodermia speciosa</i>	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp52 <i>Physcia</i> sp. 1	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp53 <i>Physcia</i> sp. 2	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp54 <i>Lecanora</i> sp.	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp55 <i>Graphis aurita</i>	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp56 <i>Haematomma</i> sp.	2	0,0057971	-5,15039724	0,029857375
sp57 <i>Ramboldia russula</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp58 <i>Haematomma flexuosum</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp59 <i>Teloschistes flavicans</i>	3	0,00869565	-4,74493213	0,041260279
sp60 <i>Parmotrema cetratum</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp61 <i>Ramalina celastri</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp62 <i>Protoparmelia multifera</i>	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
sp63 <i>Phaeographis</i> sp.	1	0,00289855	-5,84354442	0,01693781
S= 63	N=			3,501148747
	345			
H' = 3,5011				

Anexo 10: Índice de Simpson

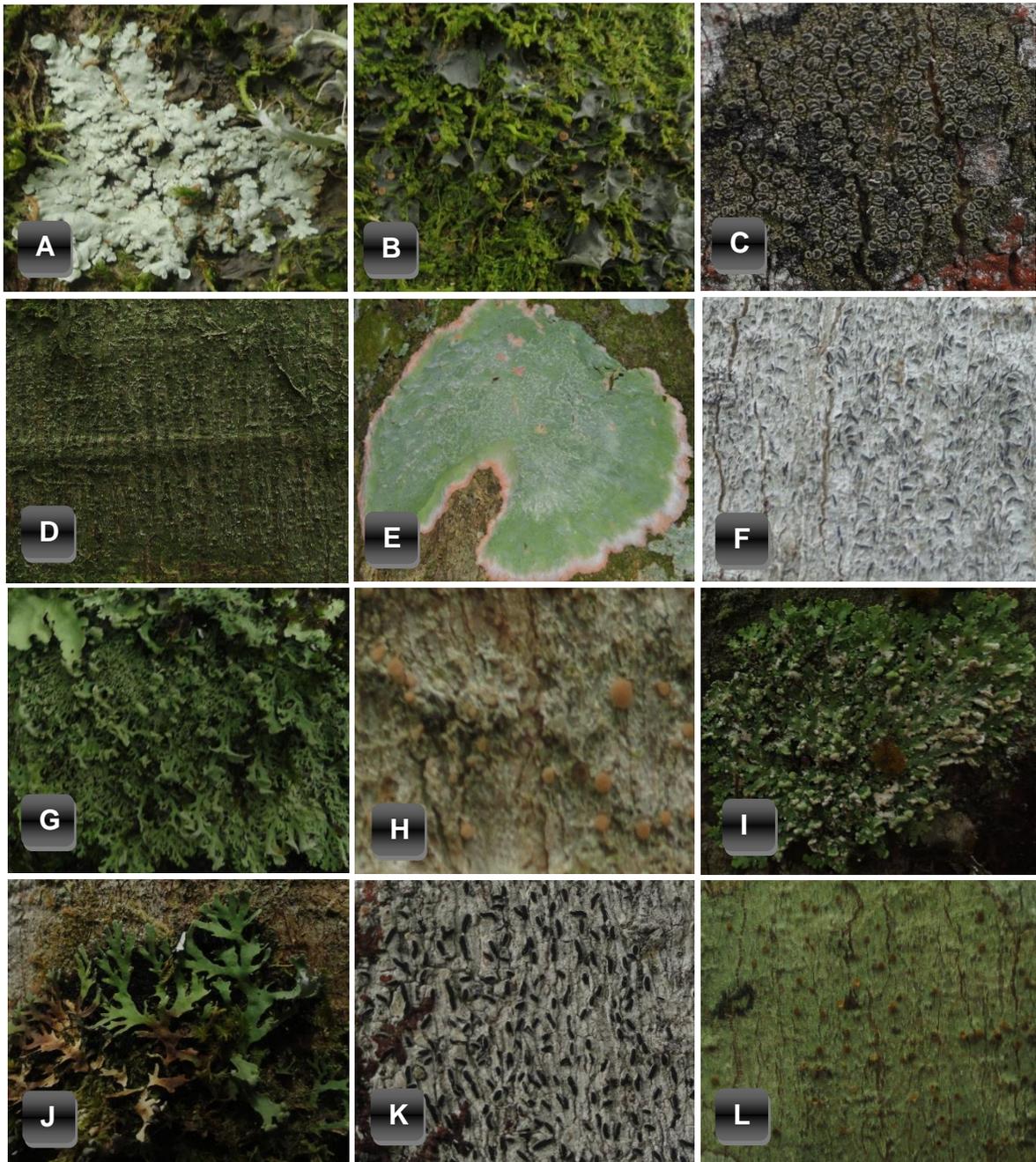
Especies	n	pi	pi*pi
sp1 <i>Parmotrema</i> sp. 1	4	0,0115942	0,000134426
sp2 <i>Parmotrema</i> sp. 2	2	0,0057971	3,36064E-05
sp3 <i>Graphis scripta</i>	8	0,02318841	0,000537702
sp4 <i>Hypotrachyna</i> sp. 1	7	0,02028986	0,000411678
sp5 <i>Herpothallon rubroechinatum</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp6 <i>Herpothallon rubrocinctum</i>	22	0,06376812	0,004066373
sp7 <i>Coenogonium</i> sp.	1	0,00289855	8,4016E-06
sp8 <i>Coenogonium magdalenae</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp9 <i>Herpothallon</i> cf. <i>japonicum</i>	4	0,0115942	0,000134426
sp10 <i>Graphis</i> cf. <i>rimulosa</i>	6	0,0173913	0,000302457
sp11 <i>Pertusaria</i> sp.	13	0,03768116	0,00141987
sp12 <i>Bacidia medialis</i>	19	0,05507246	0,003032976
sp13 <i>Graphis inversa</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp14 <i>Coniarthonia</i> sp.	30	0,08695652	0,007561437
sp15 <i>Malmidea</i> cf. <i>tratiana</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp16 <i>Malmidea fuscella</i>	16	0,04637681	0,002150809
sp17 <i>Hypotrachyna</i> sp. 2	3	0,00869565	7,56144E-05
sp18 <i>Bacidia</i> sp.	8	0,02318841	0,000537702
sp19 <i>Usnea</i> sp.	10	0,02898551	0,00084016
sp20 <i>Heterodermia leucomela</i>	5	0,01449275	0,00021004
sp21 Indeterminada 1	1	0,00289855	8,4016E-06
sp22 <i>Diorygma</i> sp.	42	0,12173913	0,014820416
sp23 <i>Leptogium phyllocarpum</i>	4	0,0115942	0,000134426
sp24 <i>Leptogium azureum</i>	2	0,0057971	3,36064E-05
sp25 <i>Heterodermia kurokawae</i>	3	0,00869565	7,56144E-05
sp26 <i>Crocodia aurata</i>	5	0,01449275	0,00021004
sp27 <i>Sticta</i> aff. <i>impressula</i>	2	0,0057971	3,36064E-05
sp28 <i>Physcia erumpens</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp 29 Indeterminada 2	1	0,00289855	8,4016E-06
sp30 <i>Phyllopsora</i> cf. <i>nigrocincta</i>	8	0,02318841	0,000537702
sp31 Indeterminada 3	1	0,00289855	8,4016E-06
sp32 <i>Porina</i> sp.	1	0,00289855	8,4016E-06
sp33 <i>Graphis argentata</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp34 <i>Herpothallon pustulatum</i>	16	0,04637681	0,002150809
sp35 <i>Phyllopsora</i> sp.	9	0,02608696	0,000680529
sp36 <i>Brigantiaea leucoxantha</i>	1	0,00289855	8,4016E-06

sp37 <i>Coccocarpia palmicola</i>	7	0,02028986	0,000411678
sp38 <i>Sticta</i> sp.1	2	0,0057971	3,36064E-05
sp39 <i>Heterodermia japonica</i>	12	0,03478261	0,00120983
sp40 <i>Sticta subfilicinella</i>	5	0,01449275	0,00021004
sp41 <i>Coccocarpia</i> sp.	9	0,02608696	0,000680529
sp42 <i>Parmeliella cf. tritophylla</i>	2	0,0057971	3,36064E-05
sp43 <i>Leptogium</i> sp.	2	0,0057971	3,36064E-05
sp44 <i>Sticta cometiella</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp45 <i>Sticta plumbeociliata</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp46 <i>Canomaculina</i> sp.	7	0,02028986	0,000411678
sp47 <i>Lecanora varia</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp48 <i>Heterodermia pseudospeciosa</i>	4	0,0115942	0,000134426
sp49 <i>Heterodermia podocarpa</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp50 <i>Ramalina</i> sp.	3	0,00869565	7,56144E-05
sp51 <i>Heterodermia speciosa</i>	2	0,0057971	3,36064E-05
sp52 <i>Physcia</i> sp. 1	2	0,0057971	3,36064E-05
sp53 <i>Physcia</i> sp. 2	3	0,00869565	7,56144E-05
sp54 <i>Lecanora</i> sp.	3	0,00869565	7,56144E-05
sp55 <i>Graphis aurita</i>	2	0,0057971	3,36064E-05
sp56 <i>Haematomma</i> sp.	2	0,0057971	3,36064E-05
sp57 <i>Ramboldia russula</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp58 <i>Haematomma flexuosum</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp59 <i>Teloschistes flavicans</i>	3	0,00869565	7,56144E-05
sp60 <i>Parmotrema cetratum</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp61 <i>Ramalina celastri</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp62 <i>Protoparmelia multifera</i>	1	0,00289855	8,4016E-06
sp63 <i>Phaeographis</i> sp.	1	0,00289855	8,4016E-06
S= 63	N=		0,043906742
	345		
D = 0,04390			

Anexo 11: Fotografías in situ de líquenes JBP



A. *Coccocarpia palmicola* **B.** *Phyllopsora* sp. **C.** *Lecanora varia* **D.** *Heterodermia pseudospeciosa* **E.** *Physcia* sp. 2 **F.** *Herpothallon rubrocinctum* **G.** *Sticta* sp.1 **H.** *Phaeographis* sp. **I.** *Leptogium* sp. **J.** *Sticta cometiella* **K.** *Ramalina* sp. **L.** *Crocodia aurata*.



A. *Physcia erumpens* **B.** *Leptogium azureum*. **C.** *Protoparmelia multifera* **D.** *Porina* sp. **E.** *Herpothallon pustulatum* **F.** *Graphis* cf. *rimulosa* **G.** *Heterodermia podocarpa* **H.** *Bacidia medialis* **I.** *Heterodermia speciosa* **J.** *Heterodermia japonica* **K.** *Graphis aurita*. **L.** *Brigantiaea leucoxantha*.