

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Taxonomía y diversidad de líquenes en los sitios GLORIA
del volcán Antisana, Ecuador**

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciada
en Ciencias Biológicas**

Doménica Janeth Naranjo Orrico

Quito, 2019

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Srta. Doménica Janeth Naranjo Orrico ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Erika Priscilla Muriel Mera, Ph.D.

Directora de la Disertación

Quito, 2 de Julio de 2019

A mi madre, mi padre, mi hermana.

A mis amigos más cercanos.

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

La realización de la presente tesis ha sido posible gracias a varias personas que me han ayudado durante el proceso de alguna forma u otra. Quisiera agradecer a M.Sc. Alba Yáñez-Ayabaca, de la Universidad Central del Ecuador, quien con su experticia me ayudó mucho durante el proceso de identificación de los especímenes. También a todos los participantes del Simposio de Líquenes en el XII Congreso Latinoamericano de Botánica que me ayudaron en la identificación de algunos especímenes, en especial al Dr. Daniel Stanton quién durante la realización de la tesis me ayudo con algunos textos y respondiendo algunas dudas que surgieron durante la realización de la misma. Además, quisiera agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por todos los conocimientos que adquirí durante la carrera, a la Dra. Priscilla Muriel por su apoyo a mi iniciativa de realizar una tesis con líquenes, por toda la ayuda que me ha dado a través del laboratorio de ecofisiología y por su guía durante la realización de este trabajo. Otro agradecimiento a Ricardo Jaramillo y la gente del Laboratorio de Ecofisiología por su apoyo y guía tanto durante la fase de campo, como en la escritura de la tesis. Un agradecimiento especial a mi amiga Ariatna Villareal, sin ella no hubiera sido posible realizar la fase de campo, por apoyarme con las salidas de campo, volverlas una experiencia inolvidable y no dejar que me rinda cuando parecía que la tesis no iba a poder realizarse; otro agradecimiento a Ricardo Zambrano por su colaboración durante la fase de campo. Un agradecimiento grande a todos mis asistentes de campo, pero en especial a mi prima Camila Montalvo que me acompañó durante casi todas las salidas e hizo posible que el trabajo de campo avanzara rápidamente. Otro agradecimiento a mis amigos y compañeros con quienes compartimos y vivimos esta experiencia universitaria en las aulas, en el campo y en la vida misma. Finalmente, un agradecimiento a mi familia, pero en especial a mis padres y mi hermana por su apoyo incondicional durante toda la carrera, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. ¿Qué es un líquen?.....	4
3.2. Los ecosistemas alto andinos en el Ecuador.....	5
3.3. Los líquenes y el microambiente	6
3.4. Amenazas del cambio climático en el páramo e implicaciones para los líquenes.....	7
3.5. Estudios de líquenes en el Ecuador	9
4. OBJETIVOS.....	12
4.1. Objetivo general	12
4.2. Objetivos específicos	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1. Sitio de estudio	13
5.2. Determinación del porcentaje de cobertura de líquenes	14
5.3. Colección de especímenes e identificación taxonómica.....	14
5.4. Análisis estadísticos.....	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
6.1. Diversidad, riqueza y cobertura de especies de líquenes.....	20
6.2. Composición de las comunidades de líquenes en las cimas	22
6.3. Patrones de riqueza y diversidad de líquenes por orientación de las cimas	29
7. CONCLUSIONES.....	32
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
9. FIGURAS	46
10. TABLAS.....	57
11. ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del diseño de las cumbres de la Iniciativa GLORIA.....	46
Figura 2. Cimas del sitio GLORIA Antisana (ECANT): A) Cima Glaciar Crespos parte baja (CBA, 4416 m), B) Chusalongo Pequeño (CHP, 4571 m), C) Chusalongo Grande (CHG, 4685 m), D) Cima Glaciar 14 (CGL, 4936 m). E) Marco de 1 x 1m, dividido en subunidades de 10 x 10 cm, utilizado para los muestreos en las diferentes cimas.....	47
Figura 3. Curva de acumulación de especies.....	47
Figura 4. Representantes de las formas de crecimiento: A) Crustoso, B) Fruticuloso, C) folioso, D) escumuloso y E) leproso.....	48
Figura 5. Medidas de A) riqueza de especies, B) cobertura, y C) diversidad de líquenes en relación a la altitud en el sitio Gloria Antisana.....	49
Figura 6. Escalamiento multidimensional no métrico (NDMS) entre las comunidades de líquenes presentes en las cimas del sitio GLORIA Antisana a partir de las distancias obtenidas del índice de disimilaridad de Bray-Curtis (BC).....	50
Figura 7. Escalamiento multidimensional no métrico (NDMS) entre las comunidades de líquenes presentes en los cuadrantes a partir de las distancias obtenidas del índice de disimilaridad de Bray-Curtis.....	51
Figura 8. Cobertura de (A) Liqueen, (B) Plantas vasculares, (C) Hojarasca, (D) Materia orgánica, (E) Suelo/arena, (F) Grava, y (G) Roca en las cuatro cimas.	52
Figura 9. Regresión lineal entre cobertura de (A) líquenes y plantas vasculares, (B) plantas vasculares y hojarasca, (C) líquenes y hojarasca, (D) liquen y materia orgánica, (E) liquen y grava, (F) liquen y suelo/arena	53
Figura 10. Regresión lineal entre cobertura de (A) liquen y roca, (B) plantas vasculares y roca, (C) hojarasca y roca, (D) hojarasca y materia orgánica, (E) roca y materia orgánica	54
Figura 11. Distribución de las formas de crecimiento en la gradiente altitudinal.....	55
Figura 12. Riqueza de especies de líquenes por orientación de cada cima. En A) Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), B) Chusalongo Pequeño (CHP), C) Chusalongo Grande (CHG) y D) Cima Glaciar 14 (CGL).	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Riqueza, índice de Shannon y Equidad de Pielou de los líquenes colectados en las diferentes cimas.....	57
Tabla 2. Índice de disimilaridad de Bray-Curtis de morfoespecies de líquenes entre las distintas cimas.	57
Tabla 3. Porcentaje promedio de cobertura de microhábitats (sustratos) en las cimas.	57
Tabla 4. Riqueza de especies, Índice de Shannon y Equidad de Pielou en cada orientación de la Cima Glaciares Crespos Parte Baja (CBA), el Chusalongo Pequeño (CHP), el Chusalongo Grande (CHG) y la Cima Glaciar 14 (CGL).....	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de morfoespecies	59
Anexo 2. Glosario	69

1. RESUMEN

La vida en los páramos está condicionada por grandes variaciones climáticas, que han obligado a la flora y fauna a generar adaptaciones únicas. Esto los vuelve organismos altamente especializados y vulnerables a cualquier alteración dentro del ecosistema, como las que se pueden dar por el cambio climático (CC). Entre estos organismos, los líquenes destacan como un componente importante de la flora de los páramos que han sido escasamente estudiados por su dificultad taxonómica por lo que aún existe mucha información por ser descrita. En Ecuador, estudios sobre la diversidad de líquenes se han realizado principalmente en las provincias de Loja, Azuay y Galápagos, dejando de lado a los páramos de los Andes del norte del país. El objetivo de este estudio fue caracterizar la diversidad de líquenes del sitio GLORIA (Iniciativa para la investigación y el seguimiento global de los ambientes alpinos) Reserva Ecológica Antisana (EC-ANT) que se compone por cuatro cimas: la Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), Chusalongo Pequeño (CHP), Chusalongo Grande (CHG) y Cima Glaciar 14 (CGL). Se realizó el monitoreo de líquenes como se especifica en el manual de campo de GLORIA, se colectó e identificó por su morfología a los individuos encontrados en los cuadrantes y se realizaron análisis de diversidad. Se encontraron 63 morfoespecies, que corresponden a 20 familias y 29 géneros. Del total, 42 morfoespecies fueron identificadas hasta el nivel de género, 15 a nivel de especie y seis no pudieron ser identificadas. La cima con más riqueza de especies fue CHG y la que presentó una mayor diversidad fue CHP. Las cimas CHG, CHP y CGL fueron muy similares en composición de especies, mientras que la composición de CBA fue muy diferente a las anteriores. La cobertura de líquenes estuvo negativamente correlacionada con la cobertura de plantas vasculares, hojarasca y materia orgánica y positivamente correlacionada con la cobertura de roca. Los líquenes crustosos tuvieron mayor riqueza en CHP, los foliosos y fruticulosos en CHG, los leprosos solo fueron encontrados en CHG y los escumulosos se mostraron más o menos constantes a lo largo de la gradiente altitudinal. No se registró una diferencia significativa entre la riqueza de especies y las orientaciones de las cimas. Los líquenes son sumamente diversos en el Antisana, por lo que deberían ser tomados en cuenta para los monitoreos dentro del marco de GLORIA.

Palabras clave: Altitud, Antisana, cobertura, diversidad, formas de crecimiento, líquenes, páramo.

2. ABSTRACT

Life in paramos (tropical alpine environments) is conditioned by great climatic variations, which have made the flora and fauna generate unique adaptations. This makes them highly specialized organisms and vulnerable to any alteration within the ecosystem, such as those of climate change (CC). Among these organisms, lichens stand out as an important component of the paramo flora but have been poorly studied due to their taxonomic difficulty, so is still a lot of information to be . In Ecuador, most of the investigation about lichens has been done in Loja, Azuay and Galapagos provinces. However, there are little or no studies in northern Ecuadorian Andes. The objective of this study was to characterize lichen diversity at GLORIA (Global observation research initiative in alpine environments) site Reserva Ecológica Antisana (EC-ANT) formed by four summits: Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), Chusalongo Pequeño (CHP), Chusalongo Grande (CHG) and Cima Glaciar 14 (CGL). Lichen monitoring was performed as specified in the GLORIA field manual, individuals found in the quadrants were collected and identified by its morphology, then diversity analyses were conducted. Sixty-three morphospecies were found corresponding to 20 families and 29 genera. Of the total, only 42 morphospecies could be identified to genera, 15 at the species level, and six could not be identified, leaving them as morphospecies. The summit with the most species richness was the CHG and the one with the greatest diversity was the CHP. The summits CHG, CHP, and CGL were very similar in species composition, while CBA was very different from the previous ones. Lichen coverage was negatively correlated with vascular plants, leaf litter, and organic matter coverage and positively correlated with rock cover. The crustose lichens had greater richness in the CHP, the foliose and fruticose in the CHG, the leprose lichens were only found in the CHG and the squamulose were more or less constant along the altitudinal gradient. There was no significant difference between the species richness and the summit's orientation. Lichens are extremely diverse in the Antisana, so they should be considered for monitoring within the framework of GLORIA.

Keywords: Altitude, Antisana, coverage, diversity, growth forms, lichens, paramo.

3. INTRODUCCIÓN

El clima de la Tierra ha cambiado continuamente desde sus inicios, solo en los últimos 650 000 años ha habido siete ciclos de avance y retroceso glacial (VijayaVenkataRaman, Iniyar y Goic, 2012). Sin embargo, el calentamiento que vivimos actualmente se diferencia de todos los anteriores, ya que en lugar de ser provocado por procesos naturales es producto de la actividad humana en el planeta (Pachauri y Meyer, 2014). Las consecuencias del cambio climático a nivel biológico se pueden evidenciar en varios ecosistemas y en varios grupos taxonómicos. Por ejemplo, Dangles et al. (2017) encontró, al realizar un estudio por medio de imágenes satélites, que los humedales ubicados en la Cordillera Real de Bolivia aumentaron en un 300% en superficie de área y en un 218% en número en 30 años, a causa del aumento de la cantidad de agua por el derretimiento de los glaciares y eventos de precipitación extremos. Otro ejemplo dado por Pacifici et al. (2017) al hacer una revisión bibliográfica, encontraron que mamíferos con una rápida reproducción y con una especificidad de hábitat baja se verían beneficiados por el cambio climático, lo contrario ocurre con los que muestran una tasa reproductiva lenta que reduce su habilidad para adaptarse a los rápidos cambios en las condiciones ambientales.

En el caso de los ecosistemas alpinos, estos son particularmente vulnerables a un aumento de temperatura provocado por el cambio climático, ya que sus especies se encuentran limitadas por las bajas temperaturas (Pauli et al., 2012; Vanneste et al., 2017), ya que durante varios millones de años han desarrollado adaptaciones para vivir en este ambiente (Körner, 2009). La mayoría de organismos que habitan en ecosistemas alpinos viven muy cerca de sus límites climáticos de supervivencia inferiores lo que evitaría que puedan migrar a mayores altitudes (Klanderud y Birks, 2003). Los líquenes son organismos importantes en ecosistemas con condiciones extremas como los alpinos (Amstrong, 2017; Lindgren et al., 2016). Durante varios años estos organismos se han utilizado como bioindicadores para conocer la calidad del ambiente o detectar cambios o perturbaciones en el mismo (como el cambio climático). Los líquenes son considerados buenos bioindicadores, ya que tienen una distribución geográfica amplia, tienen cuerpos perennes, y son sumamente sensibles a cambios en el ambiente, por lo que su monitoreo podría dar claros indicios de los efectos del cambio climático (Nascimbene et al., 2019; Purvis, 2000).

3.1. ¿QUÉ ES UN LIQUEN?

Un líquen es un organismo formado por la asociación de un hongo (micobionte) y un alga o una cianobacteria (fotobionte). En esta asociación el hongo posee mayor desarrollo y complejidad estructural que el fotobionte y produce órganos reproductivos, mientras que el fotobionte ocupa un estrato bien definido y delimitado dentro de la estructura del hongo (Purvis, 2000). Sin embargo, la asociación entre micobionte y fotobionte es más complicada de lo mencionado anteriormente, ya que se conoce que el hongo se beneficia de esta asociación al aprovechar los carbohidratos producidos por el fotobionte durante la fotosíntesis, y también del nitrógeno cuando éste es una cianobacteria, pero no existe evidencia de que el fotobionte aproveche nutrientes del hongo. Además, se ha encontrado que el fotobionte tiene un crecimiento más lento en el estado de liquenización, es decir cuando viven con el hongo, que fuera de este (Nash, 2008; Purvis, 2000).

Existen discrepancias sobre la naturaleza de esta asociación, algunos autores sugieren que es un mutualismo (Gorbushina, Beck y Schulte, 2005; Varol, 2018), otros que es un parasitismo controlado (Richardson, 1999; Sapp, 1994), pero quizá la mejor descripción de esta asociación sea que el hongo “cultiva” al fotobionte (Lüking et al., 2009; Nash, 2008). No obstante, Spribille et al. (2016) demostraron que estos dos organismos no son los únicos que participan en esta asociación, determinando que levaduras basidiomicetas forman también parte de la simbiosis. Lo que sí está claro es que esta organización particular les ha permitido, a ambos, colonizar diversos ambientes y sustratos en diferentes zonas climáticas del planeta (Purvis, 2000; Redón, 1985). Los líquenes aumentan su abundancia a medida que aumenta la latitud o altitud, llegando a ser componentes importantes de la vegetación en ecosistemas como las tundras árticas y alpinas (Amstrong, 2017; Lindgren et al., 2016). Los líquenes se caracterizan por tener un crecimiento lento, baja demanda de nutrientes, una longevidad considerable y la presencia de adaptaciones específicas para sobrevivir a condiciones extremas. Algunos líquenes acumulan químicos en su corteza capaces de absorber los rayos UV (Bjerke, Lerfall y Elvebakk, 2002; Nguyen, Chollet-Krugler, Gouault y Tomasi, 2013), y también acumulan polioles que ayudan a la protección de estructuras intracelulares durante periodos de desecación (Aubert, Juge, Boisson, Gout y Bligny, 2007; Boustie, Tomasi y Grube, 2011). Generalmente forman parte de comunidades donde la competencia no juega un papel principal (Amstrong, 2017; Vanneste et al., 2017).

3.2. LOS ECOSISTEMAS ALTO ANDINOS EN EL ECUADOR

Uno de los ecosistemas con condiciones extremas donde se encuentran los líquenes se ubica en las zonas montañosas. Estos ecosistemas, también llamados alpinos, cubren alrededor del 3% del área del planeta y se ubican sobre la línea de bosque (Rundel y Millar, 2016). En Sudamérica, este ecosistema se puede encontrar en las montañas de los Andes y se lo conoce como páramo o puna, dependiendo de la latitud a la que se encuentre: el páramo comienza desde la Cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba en Perú y la puna desde el centro de Perú hasta el norte de Chile y Argentina (Camacho, 2014; Cuesta et al., 2017; Hofstede et al., 2014). El páramo se caracteriza por tener una mayor humedad y precipitación a lo largo del año y una vegetación más tupida en comparación a la puna (Camacho, 2014; Quintanilla, 1983). Los páramos, debido a su ubicación, se caracterizan por mantener temperaturas constantes a lo largo del año, pero debido a la altitud presentan una amplia variación en la temperatura a lo largo del día (Serrano y Galárraga, 2015; Sklenář, Kučerová, Macková y Macek, 2015). Durante el día las temperaturas pueden alcanzar hasta 30 °C y en la noche las temperaturas pueden caer debajo de los 0 °C (Serrano y Galárraga, 2015; Sklenář, Kučerová, Macková y Romoleroux, 2016).

La historia geológica y climática de los Andes ha permitido el desarrollo de un alto endemismo y diversidad de especies en los páramos especialmente en plantas vasculares y aves (Buytaert, Sevink y Cuesta, 2014). El páramo es un ecosistema relativamente joven que se formó durante el Plioceno cuando las montañas de los Andes alcanzaron su altitud actual (De-Silva, Elias, Willmott, Mallet y Day, 2016; Matos-Maraví, Peña, Willmott, Freitas y Wahlberg, 2013). Mediante procesos de migración, adaptación y evolución, las especies de plantas que se encontraban en altitudes menores y otras provenientes de la región Andina-Austral, y posteriormente de la región Holártica y Mesoamérica, empezaron a conformar la flora de páramo. Además, los ciclos glaciales/interglaciares ocurridos desde hace 2,4 millones años hasta el presente, han favorecido procesos de especiación en los páramos por el aumento y disminución de los glaciares (Hofstede et al., 2014). Esto explica por qué los páramos tropicales de los Andes son los ecosistemas alpinos más diversos del planeta.

El páramo está conformado por diferentes formaciones vegetales, que dependen de la altitud y las condiciones ambientales en las que se encuentran. En el Ecuador, según el Miniterio del Ambiente (2013) existen 15 diferentes formaciones vegetales. Para este

estudio cabe mencionar tres de ellas, que son: 1) herbazal de páramo, 2) herbazal y arbustal siempreverde subnival de páramo y 3) herbazal húmedo subnival del páramo.

- 1) El herbazal de páramo se encuentra dominado por gramíneas amacolladas con parches de arbustos y con una gran diversidad de hierbas rastreras, en roseta y diversas formas de vida, además de ser rico en materia orgánica. Se localiza generalmente en valles glaciares, laderas de vertientes disectadas y llanuras subglaciares sobre los 3400 m.s.n.m. (Salgado et al., 2013).
- 2) El herbazal y arbustal siempreverde subnival de páramo se caracteriza por presentar una vegetación fragmentada, con suelo desnudo entre parches de vegetación; dominada por arbustos esclerófilos enanos, cojines (almohadillas), hierbas de tallo corto. Se lo encuentra en morrenas, circos glaciares, escarpamentos rocosos, depósitos de rocas glaciares y pendientes pronunciadas de arena o quebradas estrechas. El ambiente subnival es extremo y se intensifica a medida que aumenta la altitud por lo que arbustos y pajas amacolladas desaparecen gradualmente en la gradiente altitudinal y son reemplazados por cojines, rosetas acaulescentes, arbustos prostrados y hierbas de tallo corto (Cuesta et al., 2013b).
- 3) El herbazal húmedo subnival del páramo se encuentra dominado por pastos de tallo corto, rosetas acaulescentes y hierbas en cojín. Se localiza generalmente en laderas periglaciares —que son lugares donde dominan la acción de las heladas y/o los procesos relacionados con el *permafrost* (Slaymaker, 2011), se caracteriza por una presencia extremadamente baja de materia orgánica y una muy baja capacidad de retención y regulación de agua (Cuesta et al., 2013a).

3.3. LOS LÍQUENES Y EL MICROAMBIENTE

Los líquenes tienen una estrecha relación con el microambiente en el que crecen, se ha encontrado que existe una fuerte relación positiva entre riqueza de líquenes y el número de microambientes disponibles para el crecimiento de estos (Boch, Prati, Schöning y Fischer, 2016). Por otra parte, los líquenes poseen requerimientos específicos en el microambiente. La textura del sustrato sobre el que crecen es importante ya que las esporas de los líquenes pueden quedar atrapadas y desarrollarse más fácilmente sobre superficies de rocas rugosas que sobre superficies lisas (Brodo, 1973; Walton, 2012). La capacidad de retener humedad del sustrato también es

importante, porque la humedad del sustrato interviene en la hidratación del talo, por lo tanto, incide en la tasa de fotosíntesis y de respiración (Kidron, 2000; Rosabal, Burgaz y Reyes, 2013). Así mismo, la acidez o la alcalinidad del sustrato es importante, ya que varios minerales y sustancias orgánicas se presentan en diferentes estados químicos bajo diferentes regímenes de pH; algunos se vuelven más disponibles que otros, sus tasas de difusión pueden variar e incluso algunas se vuelven tóxicas en condiciones ácidas (Aho y Weaver, 2006; Brodo, 1973). Finalmente, la temperatura del sustrato es importante porque afecta a la temperatura del líquen, es decir, la puede elevar hasta temperaturas críticas o puede servir, como en el caso de las rocas, para regular la temperatura del talo (Brodo, 1973; Kidron, 2000).

Las diferentes formaciones vegetales presentes en los páramos permiten que existan una variedad de microambientes o sustratos disponibles para ser colonizados por los líquenes, como suelo desnudo, rocas y plantas vasculares. Nelson, McCune y Swanson (2015) y Rapai, McMullin y Newmaster (2012) reportan que en ecosistemas alpinos existe una preferencia de los líquenes por microambientes como rocas y suelo. Es importante preservar las diferentes formaciones vegetales presentes en el páramo y protegerlas de las varias amenazas, para que estas puedan proveer de un rango diverso de microambientes para el establecimiento de los líquenes.

3.4. AMENAZAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PÁRAMO E IMPLICACIONES PARA LOS LÍQUENES.

El uso de la tierra para la agricultura, el pastoreo intenso y la quema de pajonales se encuentran entre las principales amenazas para los páramos. Sin embargo, en los últimos años el cambio climático (CC) se ha añadido a la lista de amenazas, pero ha sido poco estudiado. Debido a que el CC no se puede controlar, y muchos de los patrones de diversidad y funciones ecosistémicas dependen de los gradientes climáticos y geológicos, la investigación del CC es una prioridad (Buytaert et al., 2014). En estudios previos se ha determinado que existen tres respuestas que los organismos pueden tener ante cambios climáticos o ambientales: 1) la migración hacia nichos más apropiados, 2) permanecer estacionarias y evolucionar *in situ* o, 3) extinguirse (Aptroot, Stapper, Košuthová y Cáceres, 2016). En el caso de los ecosistemas alto andinos, el panorama es un poco más crítico, ya que a medida que las condiciones climáticas cambian y se asciende en altitud, el área también disminuye (Klanderud y Birks, 2003).

Los organismos que se encuentran adaptados a vivir en estos ecosistemas tienen además una presión adicional que es la disminución de espacios donde establecerse.

En las zonas montañosas los líquenes se encuentran colonizando principalmente las áreas rocosas. Como se mencionó anteriormente, los sustratos donde los líquenes proliferan generalmente son arenosos y rocosos (Hauck, 2009; Holzschuh, 2016; Purdie, 2018). En los Andes el retroceso de glaciares que se ha observado en los últimos años (Cuesta et al., 2019) ocasiona la formación de nuevos nichos disponibles para la colonización de líquenes. Este proceso es importante, ya que algunos fotobiontes de los líquenes son cianobacterias, que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, formando así poblaciones viables en sitios recientemente deglaciados (Nascimbene, Mayrhofer, Dainese y Othmar, 2017). Además, se ha encontrado que los líquenes cumplen diferentes funciones en los ecosistemas alpinos como ayudar al rompimiento de las rocas, tanto por procesos físicos (por la penetración y expansión/contracción del talo del liquen), como por procesos químicos (por la secreción de ácidos orgánicos) (Marques et al., 2016). Adicionalmente, se ha encontrado que los líquenes con pigmentación oscura pueden elevar su temperatura sobre los 0 °C, induciendo el derretimiento de la nieve cercana volviéndola apta para el consumo de otros organismos (Asplund y Wardle, 2016). También, se ha encontrado que la materia orgánica que se produce cuando muere el liquen proporciona una mayor cantidad de nutrientes al suelo que la hojarasca de las plantas vasculares (Knops, Nash III y Schlesinger, 1996), ya que antes de que la planta realice la abscisión de la hoja realiza un reabsorción y movilización de los nutrientes presentes en dicha hoja (Asplund y Wardle, 2016). Por lo que, los líquenes son un componente muy importante de las comunidades del páramo.

Por otro lado, los líquenes usualmente son los componentes más sensibles del sistema. Al no tener un sistema vascular y de raíces, como las plantas, los líquenes se han adaptados para tomar de forma directa minerales y nutrientes presentes en la atmósfera, a través de la superficie del talo (Asplund y Wardle, 2016; Graney et al., 2017; Muhammad et al., 2018). Los cambios en el ambiente afectan directamente su vitalidad y diversidad en ecosistemas alto andinos que presentan condiciones extremas (Britton y Fisher, 2010). Es por esto, y porque presentan una fuerte respuesta que se relaciona con las condiciones ambientales, que se ha propuesto a los líquenes como buenos bioindicadores para los efectos del cambio climático en ambientes con poca contaminación, como la Antártida y los ecosistemas alpinos. Por ejemplo, se ha

determinado que cuando la temperatura en el ambiente aumenta 0,5 °C la tasa de crecimiento de los líquenes estudiados también aumenta (Nascimbene et al., 2019; Sancho, Pintado y Green, 2019). En un estudio realizado en Alaska se encontró que el cambio en la composición de líquenes estaba relacionada con un aumento en el promedio de la temperatura anual (Smith, Jovan y McCune, 2017).

Se proyecta que el cambio climático aumentará 5 °C en elevaciones sobre los 4000 m.s.n.m. en el siglo XXI (Buytaert et al., 2014; Rabatel et al., 2013; Urrutia y Vuille, 2009; Zazulie, Rusticucci y Raga, 2017) lo que provocaría una reducción en la cobertura de los glaciares y un cambio en la composición de especies (Rabatel et al., 2013). En Europa se ha encontrado que la cobertura de líquenes ha disminuido a causa del cambio climático por la expansión y aumento del crecimiento de arbustos enanos, reduciendo así la penetración de luz hacia la superficie del suelo, donde los líquenes intolerantes a la sombra han desaparecido (Alatalo, Jägerbrand, Chen y Molau, 2017; Britton, Beale, Towers y Hewison, 2009; Klanderud, 2008; Kullman, 2010; Michelsen, Syverhuset, Pedersen y Holten, 2011; Vanneste et al., 2017; Wilson y Nilsson, 2009). Además, se ha encontrado que el aumento de plantas vasculares también significa un aumento en la hojarasca, que es inversamente proporcional a la riqueza de especies de líquenes (Cornelissen et al., 2001; Jägerbrand, Lindblad, Björk, Alatalo y Molau, 2006). Sin embargo, no se han realizado estudios en el Neotrópico que permitan observar los efectos del cambio climático sobre las especies de líquenes en los páramos, por lo que no se sabe qué es lo que está sucediendo con ellos en estos ecosistemas.

3.5. ESTUDIOS DE LÍQUENES EN EL ECUADOR

Los líquenes son un grupo que históricamente ha recibido poca atención en el Neotrópico. Pese a la falta de información, se estima que la diversidad de líquenes en los Andes tropicales es cercana a 5000 especies, siendo mucho mayor en comparación a cualquier otro sistema montañosos en el mundo (Sipman, 2002, 2011). En Ecuador la mayoría de estudios sobre líquenes han sido realizados en las Islas Galápagos, en bosques montanos y páramos del sur del Ecuador especialmente de las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y Azuay (Benitez, Aragón, González y Prieto, 2016; Chuquimarca, Gaona, Iñiguez-Armijos y Benítez, 2019; González, Aragón, Benítez y Prieto, 2017; González, Aragón, Burgaz y Pietro, 2017; Nöske et al., 2008), dejando a los páramos del norte del país como un ecosistema poco estudiado. Jørgensen y

Ardvisson (2002) realizaron un estudio del género *Erioderma* en Ecuador, encontrando siete nuevas especies en las provincias de Azuay, Loja, Napo y Zamora Chinchipe; Jørgensen y Palice (2010) realizaron un recuento de la familia Pannariaceae en los volcanes Chiles, Cotopaxi, Pululahua, Tungurahua y Chimborazo, encontrando cuatro nuevas especies para los Andes. Por otro lado, Hestmark (2016) generó una clave para la identificación de especies del género *Umbilicaria*, con especímenes colectados en los volcanes Cayambe, Chimborazo, Cotopaxi, Guagua Pichincha y el Cerro Iliniza. Más recientemente González et al. (2017b) estudiaron los líquenes de cinco páramos en las provincias de Azuay y Loja, encontrando una especie nueva para Sudamérica, cinco especies nuevas para Ecuador, dos nuevos registros para el Ecuador continental y 20 registros para dichas provincias. González et al. (2017a), en otro estudio, analizaron los cambios en las comunidades de criptógamas (briofitas y líquenes) en un gradiente altitudinal en cinco páramos del sur del Ecuador, encontrando un total de 46 especies de líquenes y 44 de briófitas; los líquenes tuvieron su máxima riqueza a los 3930 m.s.n.m. que fue la mayor elevación en los sitios de estudio. Es importante conocer la diversidad de un grupo para poder conservarlo y la diversidad de líquenes es particularmente alta en ambientes extremos como los páramos (Purvis, 2000).

La Iniciativa de Investigación y Observación Global en Ambientes Alpinos (GLORIA, por sus siglas en inglés) fue creada en el año 2000. GLORIA es una red mundial de más de 116 sitios piloto, de los cuales 17 se encuentran en Sudamérica y cinco en Ecuador (Cuesta et al., 2017). Estos sitios fueron establecidos bajo un protocolo de instalación y seguimiento estándar, para la observación y el estudio comparativo a largo plazo de los impactos del cambio climático en la biodiversidad de la alta montaña (Pauli et al., 2015). En Sudamérica, se monitorean más de 1500 especies de plantas vasculares, y se ha generado una serie climática con registros de temperatura con datos continuos a escala horaria desde hace más de cinco años, por lo cual la Red GLORIA-Andes constituye el transecto de monitoreo de cambio climático y biodiversidad más extenso de los ecosistemas de montaña tropicales del mundo (Armijos y De Bièvre, 2014; Cuesta et al., 2012, 2016). A pesar de representar un gran avance en el estudio de los ecosistemas alto andinos y su flora, dentro de GLORIA los líquenes no han sido incluidos en este monitoreo, debido a falta de información y especialistas taxónomos para este grupo, por lo que su presencia ha sido sólo registrada como un sustrato adicional. El presente proyecto, mediante la evaluación de la diversidad y riqueza de especies de líquenes en el sitio GLORIA del Volcán Antisana,

complementará el monitoreo de vegetación y clima preestablecido. De esta manera, se podrá entender mejor cómo las dinámicas de las comunidades de páramo se verán afectadas por el cambio climático.

En base a lo expuesto, el presente estudio se enfoca en responder cuatro interrogantes: en primer lugar, ¿existe una mayor riqueza y cobertura de especies de líquenes donde se presente una mayor diversidad de microhábitats?; segundo, ¿es diferente la composición de especies entre cimas?, tercero, ¿presenta la cobertura de líquenes una relación inversa con la de plantas vasculares?, y cuarto ¿existen diferencias en la riqueza y diversidad entre las orientaciones cardinales de las cimas?

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la diversidad y riqueza de líquenes en las cimas del sitio GLORIA de la Reserva Ecológica Antisana (EC-ANT).

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la composición de las comunidades de líquenes a lo largo de un gradiente altitudinal.
2. Relacionar el porcentaje de cobertura de diferentes sustratos con el porcentaje de cobertura de líquenes.
3. Comparar la riqueza de especies entre las orientaciones de las cimas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. SITIO DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Sitio GLORIA de la Reserva Ecológica Antisana, establecido en el año 2013 en las faldas occidentales del volcán Antisana (5758 m.s.n.m.) (Cuesta et al., 2016; Hall et al., 2012). El sitio comprende cuatro cimas: Glaciar 14 (4936 m, CLG), Chusalongo Grande (4685 m, CHG), Chusalongo Pequeño (4571 m, CHP) y Glaciar Crespos parte baja (4416 m, CBA) (Cuesta et al., 2016), las cuales constituyen un gradiente altitudinal de 520 m.

El volcán Antisana es un estratovolcán activo que se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos a 0°30'S de latitud donde la cadena volcánica es más ancha (Bourdon et al., 2002). A lo largo de la gradiente altitudinal de las cuatro cimas la dinámica de vegetación y sustratos cambia a medida que se sube en altitud. La cima más baja, es la Glaciar Crespos parte baja (CBA), se encuentra en la zona denominada herbazal de páramo, dominada por vegetación de pajonal, principalmente por *Calamagrostis intermedia* (J.Presl) Steud. y en menor cantidad por otras gramíneas como *Agrostis breviculmis* (J.Presl) Kunth, *Festuca chimborazensis* E.B.Alexeev y *Carex pygmaea* Boeckeler; otras especies encontradas en esta zona son *Werneria nubigena* Kunth (roseta basal) e *Hypochaeris sessiliflora* Kunth (roseta acaule) (Salgado et al., 2013). Tanto Chusalongo Pequeño (CHP) como Chusalongo Grande (CHG) se encuentran en una zona herbazal y arbustal siempreverde subnival del páramo, que se encuentra dominada por almohadillas como *Azorella aretioides* (Kunth) Willd. Ex DC y con menor presencia *Valeriana alypifolia* Kunth, y una vegetación baja (arbustos rastreros como *Baccharis caespitosa* (Ruiz & Pav.) Pers. y rosetas acaules como *Hypochaeris sessiliflora*). Especies típicas de esta zona encontradas en estas cimas son *Luzula racemosa* Desv., *Lachemilla vulcanica* (Cham. & Schltld.) Rydb., *Calamagrostis intermedia*, *Valeriana microphylla* Kunth y *Gentiana sedifolia* Kunth (Cuesta et al., 2013b). Al final de la gradiente, la Cima Glaciar 14 (CGL) se encuentra en una zona dominada por roca y arena y con una escasa presencia de plantas, sin embargo, algunas especies logran colonizar estos hábitats, como *Poa cucullata* Hack. (pasto de tallo corto) y la especie típica de la zona encontrada en esta cima *Xenophyllum humile* (Kunth) V.A.Funk (almohadilla), conocida como herbazal húmedo subnival del páramo (Cuesta et al., 2013a).

5.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE COBERTURA DE LÍQUENES

Para la determinación de la cobertura de líquenes se utilizó el diseño de la iniciativa GLORIA (Pauli et al., 2015). Cada cima, previamente monitoreada, se dividió en cuatro áreas cimeras con respecto a cada orientación (N, S, E y O). Luego, tomando en cuenta cinco y diez metros de descenso vertical en altitud a partir del punto más elevado de la misma (HSP, por sus siglas en inglés —*Highest Summit Point*), la cima fue dividida en las secciones de 5 m y 10 m, teniendo así ocho áreas cimeras (5mN, 5mE, 5mS, 5mO, 10mN, 10mE, 10mS y 10mO). En el punto correspondiente a cinco metros de descenso en cada orientación, se estableció un cuadrante de 3 x 3 m, que a su vez fue dividido en 9 cuadrantes de 1 x 1 m. Los cuatro cuadrantes de las esquinas fueron destinados para el muestreo de flora y líquenes. En cada cima se tuvo un total de 16 cuadrantes de 1 x 1 m, con excepción de CGL donde la orientación Sur no se instaló debido a una fuerte pendiente (Figura 1).

En cada cuadrante se registró la cobertura de líquenes, utilizando un marco de 1 x 1 m, dividido en unidades de 10 x 10 cm (Figura 2). Se evaluó visualmente la cobertura (medida en porcentajes) de cada especie de líquen y de otros sustratos como: plantas vasculares, materia orgánica en descomposición, roca, suelo desnudo, glera —aquí denominada grava—, y briófitos (Pauli, et al., 2015). Se registró el sustrato madre sobre el cual se encontró creciendo al líquen (e.g. *Stereocaulon didycum* sobre suelo desnudo, *Caloplaca* sp.1 sobre roca, etc.).

Para cada sección cimera se registró la presencia de cada especie y se estimó, en base a percepción visual, su abundancia relativa de acuerdo a las categorías de Raunkiaer (Pauli et al., 2015): muy raro (!), raro (r), disperso (s), común (c) y dominante (d). Esto se hizo para poder estimar de manera más rápida el recambio de especies entre las cimas.

El muestreo se realizó a lo largo de cuatro salidas entre los meses de septiembre y octubre del año 2018. En CGL solo se realizó el monitoreo de la orientación Oeste y la orientación Norte, ya que la orientación Sur no pudo ser instalada y la orientación Este sufre constantemente movimientos de tierra, las dos debido a su pendiente.

5.3. COLECCIÓN DE ESPECÍMENES E IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

Se realizó una colección de referencia de líquenes para documentar todos los morfotipos encontrados en cada cima. Los especímenes fueron colectados fuera de las áreas cimaras, para evitar perturbar la vegetación presente en la cima. Cada individuo fue colectado en una funda de papel, junto con el sustrato donde crecía, se adjuntó también una etiqueta de colección y se registró fotográficamente cada morfotipo (May, 2000).

La identificación de los morfotipos se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecofisiología en la PUCE. Para ello, se separó a los individuos por su forma de crecimientos, se realizaron cortes de las estructuras reproductivas sexuales (apotecios o peritecios) y asexuales (conidios) utilizando una cuchilla de afeitar delgada, y se lo observó en el microscopio para ver la morfología de las esporas y realizar mediciones de éstas. Se estudió la morfología de los individuos tomando en cuenta características de importancia taxonómica como las mencionadas anteriormente y se realizaron test químicos (spot test), que revelan la presencia de ciertas sustancias químicas producidas por el líquen de importancia taxonómica, para seguir las claves taxonómicas (Orange, James y White, 2013). Al mismo tiempo, se realizaron comparaciones con fotos encontradas en guías, en el internet y en artículos científicos. Además, se contó con la ayuda de la Mgtr. Alba Yáñez-Ayabaca, presidenta del Grupo Ecuatoriano de Liquenología, taxónoma de líquenes y experta en el género *Hypotrachyna* quien confirmó las identificaciones de las colecciones.

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

5.4.1. DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE LÍQUENES

Se realizó una curva de acumulación de especies para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente. Se considera un esfuerzo de muestreo suficiente cuando la curva llega a una asíntota, que se define como una pendiente menor a 0,3 entre los dos puntos finales de la curva (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). A partir de los datos de riqueza de especies obtenidos, la curva de acumulación de especies llegó a una asíntota (Figura 3), ya que la pendiente del penúltimo punto fue 0,141 y del último 0,140 (<0,3).

Para determinar la diversidad de líquenes en las cimas se construyeron dos matrices: una con los datos de cobertura de todos los cuadrantes de 1 x 1m y otra con los datos de cobertura total de cada cima. Se utilizó el índice de Shannon para

determinar la diversidad en el sitio, es decir, tomando en cuenta las cuatro cimas. Este índice se calcula con la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum_i^s p_i \log_e p_i,$$

donde p_i es la proporción de cada especie i , $\log_e p_i$ el logaritmo natural de p_i y s el número de especies en la comunidad (Begon, Townsend y Harper, 2006; McCune y Grace, 2002; Molles, 2016). Para ello se utilizó la función “diversity” del paquete *Vegan* del programa R (Oksanen et al., 2018). Para determinar la riqueza de especies se tomó en cuenta el número total de especies observadas en cada cima y en cada cuadrante de 1 x 1 m. Para encontrar la equidad de las comunidades se utilizó el índice de equidad de Pielou que se calcula con la siguiente fórmula:

$$J = H' / \ln(s),$$

donde H' es el índice de Shannon y s es el número de especies (McCune y Grace, 2002). La equidad muestra el grado en el que los individuos están divididos entre las especies; los valores bajos indican que una o pocas especies son dominantes y los valores altos que cada especie tiene números relativamente iguales de individuos (Morris et al., 2014).

Se comparó la riqueza de especies con la altitud de las cimas, para lo cual se tomó en cuenta el número total de especies observadas en cada cima. Además, se realizó la misma comparación con la diversidad de especies encontrada en cada cima, calculada con anterioridad, y con la cobertura de las especies encontrada en cada cima. Se graficó los resultados utilizando el paquete *ggplot2* del programa R (Wickham, 2016).

5.4.2. COMPOSICIÓN DE ESPECIES DE LAS COMUNIDADES DE LÍQUENES EN LAS CIMAS

Para determinar la similaridad entre las cimas se utilizó el índice de disimilaridad de Bray-Curtis que se calcula con la siguiente fórmula:

$$BC_{uv} = \frac{\sum_{j=1}^s |x_{uj} - x_{vj}|}{\sum_{j=1}^s (x_{uj} + x_{vj})},$$

donde se compara el sitio u y el sitio v , x_{ij} es cada dato (cobertura de cada especie) del sitio u y x_{vj} cada dato del sitio v ; este índice toma valores entre 0 —cuando los sitios comparten todas las especies— y 1 —cuando los sitios no comparten ninguna especie— (Bray y Curtis, 1957; Greenacre y Primicerio, 2013; Ricotta y Podani, 2017).

Se calculó este índice entre las cimas y entre los cuadrantes mediante la función “vegdist” del paquete *Vegan* del programa R (Oksanen et al., 2018).

A partir de los valores obtenidos para el índice de Bray-Curtis se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), con el fin de poder observar, mediante una ordenación, qué tan similares fueron las comunidades de especies entre cimas y entre los cuadrantes de todas las cimas. Para determinar qué tan ajustado fue el modelo a las distancias calculadas (índice de Bray-Curtis) se utilizó el Stress de Kruskal (medida de bondad de ajuste) que se define como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i,j} (f(\delta_{ij}) - d_{ij})^2}{\sum_{i,j} d_{ij}^2}},$$

donde d_{ij} se refiere a la distancia calculada en todas las dimensiones entre los puntos i y j , $f(\delta_{ij})$ es la disparidad, una débil transformación monotónica de los datos que minimiza el stress de la función (Guerrero y Ramírez, 2012). Los gráficos se realizaron con el paquete *ggplot2* del programa R (Wickham, 2016).

5.4.2.1 Líquenes y microambientes en las cimas.

Para determinar la cobertura de los diferentes microhábitats (sustratos) en cada cima, se realizó una matriz con los datos de cobertura total de cada sustrato en cada cima obtenidos en campo. Después, se procedió a realizar una matriz para cada sustrato en las cuatro cimas. Se utilizaron gráficos de barras para graficar los resultados con el paquete *ggplot2* del programa R (Wickham, 2016). Se procedió a comprobar la normalidad de los datos mediante la prueba Shapiro-Wilk, que se calcula con siguiente fórmula:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

donde $x_{(i)}$ es el número en la i -ésima posición en la muestra (ordenado de menor a mayor), \bar{x} es la media muestral y a_i son constantes generadas de la varianza, covarianza y medias de la muestra demuestra con una distribución normal (Shapiro y Wilk, 1965; Yap y Sim, 2011). Una vez que se confirmó que los datos no presentaron una distribución normal, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, que es la alternativa no paramétrica para el ANOVA simple, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1),$$

donde k es el número de muestras, n_i el número de observaciones en la i -ésima muestra, n la sumatoria de n_i (número total de observaciones en toda la muestra) y R_i la suma de rangos en la i -ésima muestra. Si los tamaños de cada grupo son mayores que 5 H se distribuye como un Chi-cuadrado (X^2) con $k-1$ grados de libertad por lo que la hipótesis nula se rechaza si $H > X^2_{k-1, \alpha}$ (Kruskal y Wallis, 1952; Rivera, 2018). Se realizó esta prueba para cada sustrato para determinar si las coberturas de los diferentes sustratos eran significativamente diferentes entre las cimas. Una vez realizado el test de Kruskal-Wallis se procedió a la prueba de Dunn, para establecer cuál cima difiere de cuál, que se calcula como:

$$z_i = \frac{y_i}{\sigma_i},$$

donde i es una de las $l-m$ comparaciones, $y_i = \overline{R_a} - \overline{R_b}$, $\overline{R_a}$ es el promedio de los rangos a -ésima muestra, $\overline{R_b}$ es el promedio de los rangos asignados a la b -ésima muestra y σ_i es la desviación estándar de y_i , dada por:

$$\sigma_i = z_{\frac{\alpha}{k-1}} \sqrt{\left\{ \frac{N(N+1)}{12} - \frac{\sum_{s=1}^r \tau_s^3 - \tau_s}{12(N-1)} \right\} \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)},$$

donde N es el número total de observaciones entre los grupos, r es el número de rangos asociados, n_a es el tamaño de la muestra del a -ésimo grupo, n_b es el tamaño de la muestra del b -ésimo grupo y τ_s es el número de observaciones asociadas al s -ésimo valor asociado (Dinno, 2015; Dunn, 1964).

Posteriormente, para relacionar la cobertura total de líquenes con la cobertura total de cada sustrato (roca, grava, suelo, planta, hojarasca y materia orgánica) se realizó una regresión lineal cuya fórmula general es:

$$Y_1 = B_0 + B_1 X_1,$$

donde B_0 y B_1 son los coeficientes que definen la recta, B_1 es la pendiente de la recta y B_0 es el punto de intersección de la recta con el eje vertical (Pardo y Ruiz, 2005). Se utilizó la función “lm” del programa R (R Core Team, 2018) y posteriormente el paquete *ggplot2* (Wickham, 2016), para evaluar si la relación entre la cobertura de líquenes y la de cada sustrato fue significativa.

5.4.2.2 Distribución de las formas de crecimiento a lo largo de la gradiente altitudinal

Con el fin de encontrar un patrón de distribución en las formas de crecimiento de líquenes, se clasificó a los líquenes de la siguiente manera: crustoso, fruticuloso, folioso, escumuloso, leproso (Figura 4) (Nash, 2008). Se relacionó su forma de crecimiento con la altitud, y se graficó utilizando el paquete *ggplot2* del programa R (Wickham, 2016).

5.4.3. RIQUEZA DE ESPECIES EN LAS ORIENTACIONES DE LAS CIMAS

Para analizar si existían diferencias significativas en la riqueza y diversidad de especies entre las cuatro orientaciones de cada cima se construyó una matriz utilizando el promedio de la cobertura de cada especie en los cuatro cuadrantes por orientación. Adicionalmente, se construyó una segunda matriz que excluyó el factor cima, y solo tomó en cuenta la orientación. Es decir, se promediaron las coberturas de todas las especies en cada una de las orientaciones en todas las cimas. Se utilizó estas matrices para obtener la diversidad y riqueza de cada orientación de cada cima con la función “diversity” del paquete *Vegan* del programa R (Oksanen et al., 2018). Luego de comprobar que los datos no presentaron una distribución normal mediante la prueba Shapiro-Wilk, se procedió a realizar la prueba Scheirer-Ray-Hare, que es una extensión del test de Kruskal-Wallis que se utiliza para determinar si una medida se ve afectada por dos o más factores (Sokal y Rohlf, 2012). En este caso, para determinar si las cimas y las orientaciones tenían alguna influencia sobre los patrones de riqueza de especies de líquenes, se realizó mediante la función “scheirerRayHare” del paquete *rcompanion* del programa R (Mangiafico, 2019).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. DIVERSIDAD, RIQUEZA Y COBERTURA DE ESPECIES DE LÍQUENES

Luego del proceso de identificación taxonómica de 63 morfotipos encontrados en 50 cuadrantes, se determinó que estos corresponden a 20 familias y 29 géneros. Sin embargo, del total, 42 morfotipos pudieron ser identificadas solo hasta el nivel de género, 15 a nivel de especie y seis no pudieron ser identificadas, dejándolas como morfoespecies. Las familias más representativas fueron Parmeliaceae y Cladoniaceae, y los géneros más representativos fueron *Cladonia*, *Hypotrachyna* y *Stereocaulon*. El Anexo 1 contiene la lista completa de morfoespecies, indicando las cimas en las que se las encontró y una pequeña descripción de cada una.

La cima con mayor riqueza de especies fue el Chusalongo Grande (CHG, 47 morfoespecies) seguida por el Chusalongo Pequeño (CHP, 44 morfoespecies) y después la Cima Glaciar Crespos parte baja (CBA, 26 morfoespecies). La Cima Glaciar 14 (CGL) resultó ser la cima con menor riqueza de especies, con tan solo 25 morfoespecies (Tabla 1). En cuestión de diversidad de especies la cima más diversa fue CHP ($H'=2,656$), seguida de CHG ($H'=2,316$), CBA ($H'=1,613$) y CGL ($H'=1,186$), siendo esta última la menos diversa (Tabla 1). La cima CHP presentó el valor de equidad de Pielou más alto ($J=0,702$) es decir que son pocas las especies dominantes, seguido por CHG ($J=0,601$), CBA ($J=0,495$) y finalmente CGL ($J=0,369$) donde existe una mayor cantidad de especies dominantes (Tabla 1).

Estos resultados demuestran que el Volcán Antisana es una montaña con una alta riqueza de especies de líquenes, a pesar de que el área de muestreo es bastante pequeña en relación al área del Volcán. Adicionalmente, el presente estudio reporta más del doble de especies que otros estudios realizados en alta montaña en el Ecuador (González et al., 2017a; Paredes, 2006; Sklenář, Kovář, Palice, Stančík y Soldán, 2010). En estos trabajos también se menciona que la familia Cladoniaceae es una de las más comunes (González et al., 2017; Paredes, 2006), además que según Sipman (2011), los géneros *Stereocaulon*, *Cladonia* e *Hypotrachyna* son géneros que se encuentran bien representados en los Andes tropicales, coincidiendo con lo que encontrado para el Volcán Antisana.

Es posible que esta alta diversidad se debe a que tanto CHG como CHP son cimas que se encuentran en una zona denominada herbazal y arbustal siempreverde subnival

de páramo (Cuesta et al., 2013b), el cual se caracteriza por presentar una vegetación fragmentada, una alta presencia de roca y suelo desnudo entre los parches de vegetación, permitiendo que exista una mayor cantidad de microambientes para el establecimiento de los líquenes (Hauck, 2009). Esto es importante, ya que se ha encontrado una fuerte relación positiva entre la diversidad de microambientes y la diversidad de líquenes (Ellis, Eaton, Theodoropoulos y Elliott, 2015; Sanderson, Wilkins, Bosanquet y Genney, 2018), puesto que éstos son organismos de tamaño pequeño, con requerimientos específicos con respecto al sustrato o a variables del microambiente, como humedad, pH, textura y temperatura (Brodo, 1973; Vittoz et al., 2010).

6.1.1. RIQUEZA, DIVERSIDAD Y COBERTURA DE LIQUENES A LO LARGO DE LA GRADIENTE ALTITUDINAL

Se relacionó la riqueza de especies con la altitud (Figura 5A), y se encontró que existió una mayor riqueza de especies a los 4685 m (47 especies), que corresponde al CHG, mientras que la cima más alta (CGL, 4936 m) fue la que presentó una menor riqueza de especies con 25 especies. También se pudo ver que la cobertura de líquenes incrementa con la altitud (Figura 5B), encontrando que existe un pico de cobertura a los 4685 m, correspondiente a la cima Chusalongo Grande (CHG), sin embargo, tanto CGL como CBA tienen las coberturas más bajas. Un patrón similar constató para la diversidad de especies, en donde las cimas de altitud intermedia (CHG: 4685 m y CHP: 4571 m) mostraron mayor diversidad de especies, siendo CHG la cima más diversa, e inversamente la cima más alta (CGL: 4936 m) y la más baja (CBA: 4416 m) las menos diversas (Figura 5C, Tabla 1).

Esta relación en forma de joroba (“humped-shaped” relationship) entre riqueza y diversidad con altitud ha sido observada en otros estudios (Baniya, Solhøy, Gauslaa y Palmer, 2010; Pinokiyo, Singh y Singh, 2008; Wolf, 1993) y se piensa que esta relación unimodal se debe a la reducción del pool regional de especies disponibles en un sitio. Se cree que en zonas de baja altitud el pool de especies es grande, pero se ve limitado por la competencia; en altitudes intermedias aumenta la riqueza de especies, ya que la reducción en el pool de especies se ve compensada por la disminución en la competencia, pero a grandes altitudes las comunidades locales son solo muestras del pool regional de especies y como este decrece con la altitud también decrece la riqueza

de las comunidades locales (Naud et al., 2019). Un pool reducido de especies, combinado con las duras condiciones ambientales producto de la altura, provocan una reducción en la riqueza de especies (Bruun et al., 2006; Pinokiyo et al., 2008), lo que se evidenció claramente en este estudio. Así, la cima más baja (CBA) presentó una mayor riqueza de especies de plantas vasculares con una altitud considerable que producen sombra, la cual es perjudicial para algunas especies de líquenes, puesto que genera una mayor competencia entre los líquenes que crecen a nivel del suelo para acceder hacia mayor luz solar (Michelsen et al., 2011; Vanneste et al., 2017). Las cimas CHG y CHP se encuentran más arriba en la gradiente y la vegetación tuvo otra fisonomía, caracterizada por especies de plantas en su mayoría postradas, además de una gran cantidad de sustratos y microambientes. Esto permitiría que los líquenes se diversifiquen más y tengan mayor cobertura, debido a que tanto rocas como suelo desnudo y plantas vasculares servirían como sustrato para el crecimiento de varias especies de líquenes saxícolas, terrestres y epífitas. Por el contrario, en la cima más alta (CGL) existió una clara dominancia de cobertura de roca, pero las condiciones climáticas en esta cima fueron mucho más extremas, lo que podría estar afectando al desarrollo de las comunidades de líquenes (Gupta et al., 2014). En otros estudios realizados en páramos al norte (Paredes, 2006) y al sur del Ecuador (González et al., 2017a) se encontró que la riqueza de líquenes aumenta con la altitud. No obstante, en esos estudios la altitud máxima a la que se trabajó fue de 4200 m, lo que pudiera explicar dichos resultados. Al momento, no existen otros estudios comparativos en ambientes similares al de nuestra zona de estudio en los Andes del norte de Ecuador, que permitan evaluar el éxito de colonización de los líquenes en una gradiente altitudinal.

6.2. COMPOSICIÓN DE LAS COMUNIDADES DE LÍQUENES EN LAS CIMAS

Se calculó el índice de disimilaridad de Bray-Curtis entre las comunidades de cada cima (*BC*, Tabla 2). La cima CBA fue la que más difirió en composición de especies al ser comparada con CHP ($BC=0,907$), CHG ($BC=0,961$) y CGL ($BC=0,980$), las cuales a su vez resultaron muy similares entre ellas. Adicionalmente, se realizó un Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS) para poder observar el nivel de similitud en la composición de especies entre las cimas (Figura 6, stress de Kruskal < 0,0001). Este

análisis mostró a CBA como la cima más diferente, siendo el punto más alejado de las otras tres cimas en la ordenación. Por su lado, CGL y CHG fueron similares, al estar más cercanas la una de la otra, mientras que CHP, si bien se mostró alejada de todas las cimas, tuvo una distancia con CBA mayor que con las otras dos cimas. Este resultado se puede explicar porque CBA se encuentra en la franja de herbazal de páramo (Salgado et al., 2013), y está dominada por plantas gramíneas amacolladas como *C. intermedia*, arbustos rastreros como *B. caespitosa* y arbustos como *C. jussieui* J.F.Gimel, y cuenta también con almohadillas dispersas de *Azorella pedunculata* (Spreng.) Mathias & Constance. Además, en CBA no se registró la presencia de roca, pero si de una gran cantidad de materia orgánica y hojarasca, lo que la hace diferente a las demás cimas. Esto, como se explica en la siguiente sección, es un impedimento para el establecimiento de líquenes, por lo que esta cima tuvo especies diferentes de líquenes especialmente terrestres, como varias morfoespecies del género *Cladonia*, algunas de los géneros *Diploschistes*, *Peltigera*, *Stereocaulon* y *Sticta*, y también se registró la presencia de líquenes epífitos como los del género *Hypotrachyna*.

La Figura 7 muestra el NMDS realizado con los cuadrantes de cada cima y cada orientación (stress de Kruskal= 0,096), donde los cuadrantes pertenecientes a CBA también se ubicaron alejados del resto, en especial los cuadrantes Sur. Los cuadrantes Sur presentaron mucha variedad en su composición de especies. Dentro de uno de estos cuadrantes hubo la presencia de *C. jussieui* donde crecían líquenes de los géneros *Hypotrachyna*, *Hypogymnia* y *Xanthoparmelia*. En otro de estos cuadrantes se encontró el único ejemplar de *Thamnolia vermicularis* de toda la cima, en otro cuadrante un liquen del género *Sticta* y en el último de estos cuadrantes presentó especies de los géneros *Cladonia* y *Peltigera*. El bajo número de especies encontradas, la baja cobertura de las mismas y el hecho de que la mayoría de las especies solo se encontraron en estos cuadrantes resultó en un distanciamiento del resto.

Adicionalmente, el cuadrante Oeste de CHP se encontró separado del resto de su grupo. Esto se pudo deber a que la orientación Oeste del CHP está dominada por plantas vasculares: especies de almohadillas como *A. pedunculata* y *A. aretioides* y gramíneas amacolladas como *C. intermedia*, volviéndola similar a los cuadrantes de CBA. Además no presentó roca, un sustrato ideal para la proliferación de líquenes, lo que no ocurre en las orientaciones Norte y Este de la misma cima, en donde sí existió la presencia de roca. Por otro lado, en los cuadrantes de la orientación Sur de CHP, el

sustrato mayoritario fueron plantas vasculares en especial las almohadillas, seguido por suelo desnudo y no existió una gran cantidad de roca, por lo que líquenes terrestres como *Cladonia*, *Peltigera*, *Stereocaulon* y *Diploschistes* y líquenes epífitos que crecen en almohadillas como *Megaspora verrucosa*, *Psoroma* y *Cladonia* fueron comunes, y se redujo significativamente la presencia de algunas especies de líquenes saxícolas. Por último, no se encontró ningún patrón de similitud en la composición de especies entre las orientaciones de las cimas (Figura 6).

6.2.1. INFLUENCIA DE LOS MICROAMBIENTES Y SUSTRATOS SOBRE LA COMUNIDAD DE LÍQUENES EN LAS CIMAS.

En la Tabla 3 se presenta la cobertura promedio de sustratos (microambientes) encontrada en cada cima. Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para cada sustrato entre las cimas, y se encontró que para todos los casos las diferencias eran significativas (líquenes: $X^2= 18,473$, $p< 0,001$; plantas vasculares: $X^2= 38,941$, $p< 0,0001$; hojarasca: $X^2= 44,342$, $p< 0,0001$; materia orgánica: $X^2= 25,979$, $p< 0,0001$; suelo/arena: $X^2= 9,615$, $p<0,05$; grava: $X^2= 41,531$, $p< 0,0001$; roca: $X^2= 25,098$, $p< 0,0001$).

La prueba de Dunn mostró que CBA, la cima con menor cobertura de líquenes ($\bar{X}=1,22\%$), fue diferente a CHP y CHG, las cuales presentaron coberturas similares, mientras que CGL no presentó diferencias significativas con el resto de cimas (Figura 8A). Adicionalmente, CGL tuvo una cobertura muy baja de plantas vasculares ($\bar{X}= 0,23\%$), lo que la vuelve diferente a las demás cimas. CHG presentó el segundo valor más bajo de cobertura de plantas vasculares ($\bar{X}= 14,78\%$) volviéndola diferente de CHP, que fue la cima que presentó mayor cobertura de plantas vasculares ($\bar{X}= 33,91\%$). CBA, en cambio, se caracterizó por tener un alto porcentaje de plantas vasculares ($\bar{X}=25,44\%$, Figura 8B), sobre todo de especies como *C. intermedia* ($\bar{X}= 8,20\%$), lo cual, como se indica más adelante, podría explicar la gran cantidad de hojarasca ($\bar{X}=63,65\%$) y materia orgánica ($\bar{X}=2,54\%$) presente en esta cima.

La cima CHP presentó porcentajes bajos para materia orgánica ($\bar{X}= 1,51\%$) y hojarasca ($\bar{X}= 38,53\%$). CHG presentó el segundo valor más bajo tanto de cobertura de hojarasca ($\bar{X}= 21,36\%$), como de materia orgánica ($\bar{X}= 0,94\%$). CGL presentó valores muy bajos tanto de cobertura de hojarasca ($\bar{X}= 0,44\%$) como de materia orgánica ($\bar{X}= 0,00$) siendo significativamente diferente a las demás (Figura 8C, D).

Al realizar una regresión lineal se encontró que la cobertura de plantas vasculares tuvo una correlación negativa significativa con la cobertura de líquenes ($p < 0,01$) aunque los datos se encontraron dispersos, como lo refleja el valor de R^2 bajo ($R^2 = 0,12$, Figura 9A). Aun así, se puede decir que los cambios en el valor predictor —porcentaje de líquenes— se reflejó en un cambio en la variable respuesta —porcentaje de plantas vasculares— (Addlink, 2015). En estudios a largo plazo realizados en Europa se ha encontrado una correlación negativa entre la abundancia de arbustos enanos y la abundancia de líquenes, esto se ha observado en los sitios GLORIA del Parque Nacional Dovrefjell-Sunndalsfjella (Noruega), donde con el paso de los años la abundancia de estos arbustos enanos ha aumentado en las cimas y la abundancia de líquenes ha disminuido (Michelsen et al., 2011; Vanneste et al., 2017). Esto también se encontró en Suecia, no obstante, este resultado siempre se relaciona con plantas que puedan generar algún tipo de sombra (Alatalo et al., 2017) ya que afecta a la capacidad fotosintética de las algas en los líquenes. Las algas conforman tan solo una pequeña parte de la estructura del líquen y por lo tanto el proceso de fotosíntesis puede sufrir fácilmente por el aumento de la sombra provocado por las plantas vasculares (Pajunen, Oksanen y Virtanen, 2011). Otros estudios realizados en tundras árticas se demostró una fuerte correlación negativa entre la abundancia de plantas vasculares y la de líquenes (Cornelissen et al., 2001; Elmendorf et al., 2012; Fraser, Lantz, Olthof, Kokelj y Sims, 2014), relación que está dada por un aumento en la cantidad de hojarasca al aumentar la abundancia de plantas (Cornelissen et al., 2001; Jägerbrand et al., 2006; Vanneste et al., 2017). Estos datos se corroboraron con el resultado de la regresión lineal realizada en el presente estudio entre plantas vasculares y hojarasca, donde se encontró que una mayor presencia de plantas vasculares significó una mayor presencia de hojarasca; pese a la alta dispersión de los datos ($R^2 = 0,17$) se encontró una significativa relación positiva ($p < 0,01$, Figura 9B). Esto se evidenció claramente en la CBA donde una alta cobertura de plantas vasculares significó una alta cobertura de hojarasca. Sin embargo, no sucedió lo mismo en CHP que pese a que presentó la mayor cobertura de plantas vasculares no presentó un valor tan alto de cobertura de hojarasca. Esto se podría explicar ya que mientras CBA se encontró dominada por *C. intermedia* ($\bar{X} = 8,20\%$), que es una hierba en penacho, en CHP las plantas más abundantes fueron cojines como *A. pedunculata* ($\bar{X} = 6,32\%$) y *A. aretioides* ($\bar{X} = 5,15\%$) que retienen sus hojas muertas en el tallo por varios años (He, Xu, Kueffer, Zhang y Shi, 2014) por lo que no aportarían a la hojarasca de la superficie del suelo.

La correlación negativa entre cobertura de hojarasca y de líquenes, que se menciona en el párrafo anterior, se encontró también en el presente estudio ($p < 0,0001$, $R^2 = 0,47$, Figura 9C) y quizá sea más evidente en CBA ya que fue la cima que presentó la mayor cobertura de hojarasca y la menor cobertura de líquenes. Una posible explicación para esto es que la presencia de hojarasca provoca que los líquenes tengan una baja tasa de fotosíntesis al reducir la cantidad de luz que les llega y aumentar el período de hidratación, estos dos factores combinados provocan una mayor pérdida de carbono por la respiración (Serpe, Roberts, Eldridge y Rosentreter, 2013). Adicionalmente, mayor cantidad de hojarasca significaría un aumento en el nitrógeno que regresa al suelo y el aumento de este compuesto perjudicaría la abundancia de líquenes como se menciona más adelante. También se encontró, al correlacionar la cobertura de líquenes con la cobertura de materia orgánica, que existió una significativa relación negativa ($p < 0,001$, $R^2 = 0,24$, Figura 9D). En un estudio de monitoreo de líquenes a largo plazo realizado en Suecia se encontró que al aumentar la cantidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, la biomasa de líquenes se vio reducida, probablemente porque esto beneficia a los organismos que son mejores competidores, como las plantas vasculares (Alatalo, et al., 2015).

La cima CHG presentó la mayor cobertura de suelo desnudo ($\bar{X} = 13,04$) y roca ($\bar{X} = 8,98\%$), CGL también tuvo valores altos de cobertura tanto de suelo desnudo ($\bar{X} = 9,25\%$) como de roca ($\bar{X} = 14,70\%$), CHP presentó el valor más bajo de cobertura de suelo desnudo ($\bar{X} = 3,55\%$) y una buena presencia de roca ($\bar{X} = 8,98\%$). Finalmente, CBA fue la cima menos apta para el crecimiento de líquenes, posiblemente debido a la ausencia casi completa de roca ($\bar{X} = 0,00\%$) y el segundo valor más bajo de cobertura de suelo desnudo ($\bar{X} = 6,14\%$, Figura 8 E, G).

No se encontró ninguna correlación significativa entre la cobertura de suelo con la cobertura de líquen ($p > 0,01$, $R^2 = 0,0011$, Figura 9F), pero si se encontró una correlación positiva entre cobertura de roca y la cobertura de líquen ($p < 0,0001$, $R^2 = 0,36$, Figura 10A). La roca se considera un sustrato muy utilizado por los líquenes, ya que al ser poco explotado por otros organismos, significa menos competencia para los líquenes (Nash, 2008), y brinda, además, microambientes adecuados para su desarrollo (Purvis, 2000; Vittoz et al., 2010). Igualmente, se ha visto que en los ecosistemas montañosos la mayoría de líquenes son saxícolas y terrícolas (Hauck, 2009; Holzschuh, 2016). Es importante mencionar que al tomar los datos no se discriminó entre suelo

desnudo y arena. La arena es un sustrato no colonizable para este grupo de organismos, ya que se encuentra en constante movimiento lo cual evita que los líquenes, que son seres de lento crecimiento, se establezcan (Brodo, 1973), mientras que el suelo desnudo es un sustrato muy utilizado por los líquenes. Por lo tanto, el hacer esta discriminación de sustratos (suelo vs. arena) al momento de la toma de coberturas de sustratos sería de gran importancia en los estudios de cambios en la riqueza y diversidad de líquenes a lo largo del tiempo, en ambientes de alta montaña.

Naturalmente se encontró una correlación negativa entre la cobertura de plantas vasculares y roca ($p < 0,001$, $R^2 = 0,19$, Figura 10B), debido a que las raíces de las plantas tienen impedimentos mecánicos para crecer en rocas (Schwinning, 2010). El espacio que ocupan las rocas no puede ser ocupado por las plantas, lo que también podría explicar la relación negativa entre la cobertura de roca y cobertura de hojarasca ($p < 0,0001$, $R^2 = 0,46$, Figura 10C), ya que la hojarasca es producida por las plantas. También, se encontró una significativa correlación positiva entre cobertura de hojarasca y materia orgánica ($p < 0,0001$, $R^2 = 0,43$, Figura 10D), lo que se explica ya que la hojarasca después de un periodo de descomposición se vuelve materia orgánica. Debido a que una mayor cobertura de plantas vasculares significa una mayor cobertura de hojarasca, también significa una mayor presencia de conejos andinos (*Sylvilagus andinus*). Se ha visto que los conejos presentan mayor abundancia en lugares con una vegetación heterogénea, ya que tienen más lugares para esconderse y más variedad de plantas para alimentarse, aumentando la cantidad de fecas de este animal y por ende la cantidad de materia orgánica (Berg, 2000; García, Suárez y Zapata-Ríos, 2016; Tirira, 2007).

Igualmente, se encontró una correlación negativa significativa entre cobertura de roca y materia orgánica ($p < 0,001$, $R^2 = 0,23$, Figura 10E) que podría explicar por lo mencionado anteriormente, es decir, al no poder crecer en las rocas las plantas presentan una menor cobertura, lo que ocasiona que exista menos o nada de hojarasca y a su vez menos materia orgánica.

Finalmente, en el caso de la cobertura de grava, CGL presentó una cobertura muy elevada ($\bar{X} = 67,65\%$) lo que la vuelve diferente al resto. CBA, por otro lado, presentó la cobertura más baja ($\bar{X} = 0,07\%$) diferenciándola de las otras tres cimas y CHP y CHG presentaron valores similares (Figura 8F).

La cobertura de grava mostró una cierta correlación negativa con la cobertura de líquen, aunque no fue significativa ($p > 0,01$, $R^2 = 0,015$, Figura 9E). Esta relación se puede dar porque la grava, al igual que la arena, representa un terreno muy inestable para la colonización de líquenes. En Austria se observó que la grava depositada por el retroceso del glaciar Rotmoos fue colonizada por la planta vascular *Salix herbacea* L. después de un año, mientras que no hubo colonización de líquenes por 13 años. Esto se debe a que la naturaleza física de los materiales no consolidados, como la grava, es más favorable para el crecimiento y desarrollo de raíces de plantas vasculares que para el establecimiento de organismos de lento crecimiento como los líquenes (Brodo, 1973; Palmer y Miller, 1961; Syers y Iskandar, 1973).

Las cimas CHG y CHP son las que mostraron una mayor equidad para la cobertura de los diferentes sustratos (Figura 8). Lo contrario sucede en CBA y en CGL, que estuvieron dominadas por hojarasca (Figura 8C) y grava (Figura 8F), respectivamente, como se muestra en la prueba de Dunn mencionada en el párrafo anterior, y los demás tuvieron una cobertura muy baja o estuvieron ausentes (Tabla 4).

6.2.2. DISTRIBUCIÓN DE FORMAS DE CRECIMIENTO A LO LARGO DE LA GRADIENTE ALTITUDINAL.

En las cuatro cimas, se encontraron 21 morfoespecies de líquenes crustosos, 24 de líquenes fruticulosos, 17 de líquenes foliosos, 2 de líquenes escuamulosos y 1 líquen leproso. Como se puede ver en la Figura 11, los líquenes crustosos mostraron una mayor riqueza de especies a los 4571 m (CHP) y menor riqueza de especies a los 4416 m (CBA). Los líquenes fruticulosos y foliosos tuvieron una mayor riqueza de especies a los 4685 m (CHG) y menor riqueza a los 4936 m (CLG). De esta manera, se constató que tanto los líquenes fruticulosos como los foliosos aumentaron en riqueza hasta los 4685 m y decrecieron al alcanzar los 4.936 m en la cima más alta. Esto es consistente con los patrones reportados para los líquenes fruticulosos en un estudio realizado en los Andes de Colombia, en donde se pudo ver que la riqueza aumentó hasta los 3400 m y luego decreció (Wolf, 1993). Cabe destacar que el estudio de Wolf (1993) reportó este patrón con relación a la altitud para todas las formas de crecimiento. Por otro lado, Vittoz et al. (2010) en un estudio realizado en Suiza, reportaron que los líquenes foliosos disminuían con la altitud pero que las otras formas de crecimiento no mostraban ninguna tendencia significativa. Los líquenes crustosos mostraron más

riqueza en las cimas donde existía mayor cobertura de roca, ya que la mayoría de los líquenes crustosos encontrados fueron saxícolas. Con respecto a los líquenes leprosos, solo se encontraron a 4685 m (CHG). Bässler et al. (2015) en un estudio realizado en el bosque Bohemio de Alemania encontraron que los líquenes leprosos disminuían con la altitud. Los líquenes escumulosos no presentaron un patrón muy definido de riqueza de especies en todo el sitio de estudio, sin embargo, se encontró más individuos con esta forma de crecimiento a los 4571 m y a los 4685 m. Rai, Khare, Baniya, Upreti y Gupta (2015), en un estudio realizado en la parte occidental de los Himalayas con líquenes terrestres, encontraron que los líquenes escumulosos aumentaban hasta los 3600 m y después de esta altura sus números decrecían.

6.3. PATRONES DE RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE LÍQUENES POR ORIENTACIÓN DE LAS CIMAS

Se graficó la riqueza de especies con respecto a las cuatro orientaciones de cada cima (Figura 12). En CBA se encontró que la orientación Este tuvo un mayor número de taxa, con 18 morfoespecies, seguida por el Norte con 12 morfoespecies, después la orientación Sur con 8 morfoespecies y la orientación con menor riqueza fue la orientación Oeste con 4 morfoespecies (Figura 12A, Tabla 4). En el Chusalongo Pequeño las orientaciones con mayor riqueza fueron la Sur y Norte con 37 morfoespecies cada una, seguidas por la orientación Este con 36 morfoespecies y la que tuvo una menor riqueza fue la orientación Oeste con 2 morfoespecies (Figura 12B, Tabla 4). En el Chusalongo grande se encontró que la orientación Oeste fue la que presentó una mayor riqueza con 39 morfoespecies, seguida por la orientación Norte con 37 morfoespecies, la Sur con 33 morfoespecies y la que tuvo menor riqueza fue la orientación Este con 29 morfoespecies (Figura 12C, Tabla 4). La Cima Glaciar solo tuvo dos orientaciones, la orientación Norte fue la que tuvo mayor riqueza con 23 morfoespecies y la Oeste menos con 19 morfoespecies (Figura 12D, Tabla 4).

En el caso de la diversidad de especies por cada orientación (Tabla 4) se pudo ver que la orientación más diversa de la Cima Baja fue la orientación Norte ($H' = 2,360 - J = 0,950$) y la menos diversa fue la orientación Este ($H' = 1,050 - J = 0,363$). La orientación más diversa del Chusalongo Pequeño fue la orientación Sur ($H' = 2,492 - J = 0,690$) y la menos diversa fue la orientación Oeste ($H' = 0,692 - J = 0,998$). En el Chusalongo Grande la orientación más diversa fue la oeste ($H' = 2,873 - J = 0,784$) y la

menos diversa fue la orientación Este ($H' = 1,933 - J = 0,574$). En la Cima Glaciar la orientación más diversa fue la orientación Norte ($H' = 1,341 - J = 0,428$) y la menos diversa fue la orientación Oeste ($H' = 0,994 - J = 0,338$).

La prueba de Shapiro-Wilk mostró que tanto los datos de riqueza de especies como de diversidad no estaban distribuidos normalmente ($p < 0,1$ y $p < 0,01$ respectivamente). Debido a la falta de normalidad en la distribución de los datos se realizó la prueba de Scheirer-Ray-Hare para poder analizar los patrones de riqueza a lo largo de la gradiente y entre las diferentes orientaciones. Se encontró que la altitud de las cimas tuvo un efecto en la riqueza de especies ($H = 30,758$, $p < 0,0001$), mientras que las orientaciones no tuvieron ningún efecto significativo en el patrón de riqueza de especies ($H = 5,770$, $p > 0,1$). La interacción de las orientaciones y la altitud de las cimas tuvieron un efecto significativo sobre la riqueza de especies ($H = 22,855$, $p < 0,01$). Se procedió a realizar la misma prueba de Scheirer-Ray-Hare para ver si existía una diferencia significativa en la diversidad a lo largo de la gradiente y entre las diferentes orientaciones. Se encontró un resultado similar al obtenido con los datos de riqueza, la altitud de las cimas tuvo un efecto en la diversidad de especies ($H = 31,593 - p < 0,0001$), las orientaciones no tuvieron ningún efecto significativo en la diversidad de especies ($H = 4,513 - p > 0,1$) y la interacción entre la altitud de las cimas y las orientaciones tuvo un efecto significativo sobre la diversidad de especies ($H = 20,007 - p < 0,05$).

La prueba Scheirer-Ray-Hare permitió ver que la orientación solo tuvo un efecto dependiendo de la cima de estudio, debido a que las cimas se encuentran a diferentes alturas y por lo tanto están sometidas a diferentes condiciones climáticas y albergan diferentes formaciones vegetales. En estudios realizados con plantas vasculares en el sitio GLORIA de Cumbres Calchaquies en Argentina se encontró una mayor riqueza de especies en la orientación Norte, debido a una mayor temperatura, y menor riqueza en la orientación Sur (Carilla et al., 2018). En Europa, en los Montes Cárpatos (Coldea y Pop, 2004) y en los Apeninos (Stanisci, Pelino y Blasi, 2005; Theurillat, Iocchi, Cutini y De Marco, 2010), se ha encontrado que la orientación Este presentó una mayor riqueza de especies debido a una mayor temperatura al igual que en el caso anterior; pero también se ha encontrado que no existe ninguna diferencia significativa, como fue el caso de las montañas internas de los Alpes suizos (Vittoz et al., 2010). En un estudio regional sobre la riqueza y diversidad en las diferentes orientaciones de 132 cimas en 32 regiones montañosas de Europa se encontró que la riqueza y diversidad de especies en montañas

del Mediterráneo no presentaban diferencias significativas entre las orientaciones, pero las montañas templadas presentaban una riqueza y diversidad de especies significativamente mayor en las orientaciones Este y Sur ya que presentaban una mayor temperatura (Winkler et al., 2016). Sin embargo, no existen estudios similares con líquenes por lo que realizar una comparación de los resultados del presente estudio con otros estudios se dificulta. Finalmente, cabe recalcar que en la cima Glaciar 14 (CGL) no se pudo tener la información de todas las orientaciones ya que la orientación Sur nunca fue instalada, debido a la inclinación extrema del terreno, y la orientación Este sufre constantes movimientos de tierra debido a su pendiente, por lo que la ausencia de estos cuadrantes pudo incorporar ruido en el análisis de Scheirer-Ray-Hare y afectar los resultados.

Los resultados obtenidos nos muestran que los líquenes son un componente importante del páramo ya que presentan una alta diversidad y riqueza, sin embargo, no responden de la misma manera que las plantas vasculares a las condiciones del ambiente. Esto, posiblemente debido a que son organismos pequeños que, si bien son sensibles a cambios en el ambiente, dependen más de las condiciones microambientales, siendo muchas veces específicos al sustrato, no son buenos competidores, por lo que son más abundantes en sitios con menos plantas vasculares. Es importante estudiar a los líquenes con más detalle para entender su rol en el páramo y como se va a ver afectada su riqueza, diversidad y abundancia por los cambios en el ambiente generados por el cambio climático.

7. CONCLUSIONES

Los líquenes son un grupo diverso, importante y poco explorado en el páramo del volcán Antisana, por lo que deberían ser tomados en cuenta como especies y no como sustrato en los monitoreos dentro del marco de GLORIA. La cima con mayor riqueza de especies fue Chusalongo Grande (CHG), pero la cima con mayor diversidad fue Chusalongo Pequeño (CHP). Estas dos cimas, al estar en una zona denominada herbazal y arbustal siempreverde subnival que se caracterizan por tener una vegetación fragmentada, una alta presencia de roca y suelo desnudo entre los parches de vegetación, esto, proporciona una mayor cantidad de microambientes y sustratos disponibles para la colonización de líquenes confirmando que hay una mayor riqueza y cobertura de estos organismos en lugares con mayor diversidad de microhábitats. Las cimas Chusalongo Grande (CHG, 4685 m), Chusalongo Pequeño (CHP, 4571 m) y Cima Glaciar 14 (CGL, 4936 m) fueron muy similares en composición de especies, mientras que la Cima Glaciar Crespos parte baja (CBA, 4416 m) fue diferente a las otras tres. Se encontró que CBA está dominada por pajonal y arbustos de chuquiragua con poca o ninguna presencia de roca, provocando que la liquenobiota sea poco abundante y en su mayoría epífita o terrestre. En las demás cimas la mayoría fue saxícola, comprobando que existen diferencias en la composición entre las comunidades de líquenes de las cimas. La cobertura de hojarasca afectó negativamente a la cobertura de líquenes al igual que la presencia de materia orgánica, mientras que la presencia de roca tuvo un efecto positivo sobre la cobertura de líquenes. La cobertura de grava y suelo/arena no tuvieron ningún efecto significativo en la cobertura de líquenes. Además, se encontró que una mayor cobertura de plantas vasculares significa una menor cobertura de líquenes por lo que se confirmó que existe una correlación negativa entre cobertura de plantas y cobertura de líquenes significativa. No se encontró ninguna diferencia significativa en la riqueza y diversidad de especies entre orientaciones de las cimas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addlink. (2015). Cómo interpretar los resultados del análisis de regresión: p-valores y coeficientes. Recuperado el 27 de mayo de 2019, de Addlink: Software Científico website: <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2540-como-interpretar-los-resultados-del-analisis-de-regresion-p-valores-y-coeficientes>
- Aho, K., y Weaver, T. (2006). Measuring Water Relations and pH of Cryptogam Rock-Surface Environments. *The Bryologist*, 109(3), 348–357.
- Alatalo, J. M., Jägerbrand, A. K., Chen, S., y Molau, U. (2017). Responses of lichen communities to 18 years of natural and experimental warming. *Annals of Botany*, 120, 159–170.
- Alatalo, J. M., Jägerbrand, A. K., y Molau, U. (2015). Testing reliability of short-term responses to predict longer-term responses of bryophytes and lichens to environmental change. *Ecological Indicators*, 58, 77–85.
- Armstrong, R. A. (2017). Adaptation of Lichens to Extreme Conditions. En V. Shukla, S. Kumar, & N. Kumar (Eds.), *Plant Adaptation Strategies in Changing Environment* (pp. 1–27). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Aptroot, A., Stapper, N. J., Košuthová, A., y Cáceres, M. E. (2016). Lichens. En T. M. Letcher (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth* (2da ed., pp. 295–307). Amsterdam: Elsevier.
- Armijos, M. T., y De Bièvre, B. (2014). El páramo como proveedor de servicio ambiental primordial, el agua. En F Cuesta, J. Sevink, L. Llambí, B. De Bièvre, & J. Posner (Eds.), *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. Lima-Quito: CONDESAN.
- Asplund, J., y Wardle, D. A. (2016). How lichens impact on terrestrial community and ecosystem properties. *Biological Reviews*, 92(3), 1720–1738.
- Aubert, S., Juge, C., Boisson, A. M., Gout, E., y Bligny, R. (2007). Metabolic processes sustaining the reviviscence of lichen *Xanthoria elegans* (Link) in high mountain environments. *Planta*, 226(5), 1287–1297.
- Baniya, C. B., Solhøy, T., Gauslaa, Y., y Palmer, M. W. (2010). The elevation gradient of lichen species in Nepal. *Lichenologist*, 42, 83–96.
- Bässler, C., Cadotte, M. W., Beudert, B., Heibl, C., Blaschke, M., Bradtka, J., ... Müller, J. (2015). Contrasting patterns of lichen functional diversity and species

- richness across an elevation gradient. *Ecography*, 39(7), 689–698.
- Begon, M., Townsend, C. R., y Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (4ta ed.). Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Benitez, A., Aragón, G., González, Y., y Prieto, M. (2016). More than one hundred new records of lichens from Ecuador. Universidad Rey Juan Carlos.
- Berg, B. (2000). Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133, 13–22.
- Bjerke, J. W., Lerfall, K., y Elvebakk, A. (2002). Effects of ultraviolet radiation and PAR on the content of usnic and divaricatic acids in two arctic-alpine lichens. *Photochemical and Photobiological Science*, 1(9), 678–685.
- Boch, S., Prati, D., Schöning, I., y Fischer, M. (2016). Lichen species richness is highest in non-intensively used grasslands promoting suitable microhabitats and low vascular plant competition. *Biodiversity and Conservation*, 25(2), 225–238.
- Bourdon, E., Eissen, J. P., Monzier, M., Robin, C., Martin, H., Cotten, J., y Hall, M. (2002). Adakite-like Lavas from Antisana Volcano (Ecuador): Evidence for Slab Melt Metasomatism Beneath Andean Northern Volcanic Zone. *Journal of Petrology*, 43(2), 199–217.
- Boustie, J., Tomasi, S., y Grube, M. (2011). Bioactive lichen metabolites: alpine habitats as an untapped source. *Phytochemistry Reviews*, 10(3), 287–307.
- Bray, R., y Curtis, J. T. (1957). An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349.
- Britton, A. J., Beale, C. M., Towers, W., y Hewison, R. L. (2009). Biodiversity gains and losses: Evidence for homogenisation of Scottish alpine vegetation. *Biological Conservation*, 142(8), 1728–1739.
- Britton, Andrea. J., y Fisher, J. M. (2010). Terricolous alpine lichens are sensitive to both load and concentration of applied nitrogen and have potential as bioindicators of nitrogen deposition. *Environmental Pollution*, 158(5), 1296–1302.
- Brodo, I. M. (1973). Substrate Ecology. En V. Ahmadjian & M. E. Hale (Eds.), *The Lichens* (pp. 401–441). New York: Elsevier.
- Bruun, H. H., Moen, J., Virtanen, R., Grytnes, J. A., Oksanen, L., y Angerbjörn, A. (2006). Effects of altitude and topography on species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in alpine communities. *Journal of Vegetation Science*, 17(1), 37–46.

- Bungartz, F., Yáñez, A., Nugra, F., y Ziemmeck, F. (2013). *Guía rápida de líquenes de las Islas Galápagos*. Santa Cruz: Fundación Charles Darwin.
- Buytaert, W., Sevink, J., y Cuesta, F. (2014). Cambio climático: la nueva amenaza para los páramos. En Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, & Posner J (Eds.), *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos* (pp. 506–525). Lima-Quito: CONDESAN.
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77–92.
- Carilla, J., Halloy, S., Cuello, S., Grau, A., Malizia, A., y Cuesta, F. (2018). Vegetation trends over eleven years on mountain summits in NW Argentina. *Ecology and Evolution*, 00, 1–14.
- Chuquimarca, L., Gaona, F., Iñiguez-Armijos, C., y Benítez, A. (2019). Lichen Responses to Disturbance: Clues for Biomonitoring Land-use Effects on Riparian Andean Ecosystems. *Diversity*, 11(5), 73.
- Coldea, G., y Pop, A. (2004). Floristic diversity in relation to geomorphological and climatic factors in the subalpine-alpine belt of the Rodna Mountains (The Romanian Carpathians). *Pirineos*, 158, 61–72.
- Cornelissen, J. H. C., Callaghan, T. V., Alatalo, J. M., Michelsen, A., Graglia, E., Hartley, A. E., ... Aerts, R. Sveinbjörnsson, B. (2001). Global change and arctic ecosystems: is lichen decline a function of increases in vascular plant biomass? *Journal of Ecology*, 89, 984–994.
- Cuesta, F., Llambí, L. D., Huggel, C., Drenkhan, F., Gosling, W. D., Muriel, P., ... Tovar, C. (2019). New land in the Neotropics: a review of biotic community, ecosystem, and landscape transformations in the face of climate and glacier change. *Regional Environmental Change*, 1–20.
- Cuesta, F., Muriel, P., Llambí, L. D., Halloy, S., Aguirre, N., Beck, S., ... Gosling, W. D. (2017). Latitudinal and altitudinal patterns of plant community diversity on mountain summits across the tropical Andes. *Ecography*, 40(12), 1381–1394.
- Cuesta, F., Salgado, S., Báez, S., Sklenář, P., Medina-Torres, B., y PMV. (2013a). HsNn01 Herbazal húmedo subnival del Páramo. En R. Galeas, J. E. Guevara, B. Medina-Torres, M. Á. Chinchero, & X. Herrera (Eds.), *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* (pp. 151–153). Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

- Cuesta, F., Salgado, S., Báez, S., Sklenář, P., Medina-Torres, B., y PMV. (2013b). HsNn03 Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo. En R. Galeas, J. E. Guevara, B. Medina-Torres, M. Á. Chinchero, & X. Herrera (Eds.), *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* (pp. 147–149). Quito: Ministerio del Ambiente.
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R. I., Halloy, S., Salgado, S., ... Becerra, M. (2012). *Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación*. Lima- Quito: Red Gloria - Andes.
- Dangles, O., Rabatel, A., Kraemer, M., Zeballos, G., Soruco, A., Jacobsen, D., y Anthelme, F. (2017). No Ecosystem sentinels for climate change? Evidence of wetland cover changes over the last 30 years in the tropical Andes. *PloS ONE*, 12(5).
- De-Silva, D. L., Elias, M., Willmott, K., Mallet, J., y Day, J. J. (2016). Diversification of clearwing butterflies with the rise of the Andes. *Journal of Biogeography*, 43, 44–58.
- Dinno, A. (2015). Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *The Stata Journal*, 15(1), 292–300.
- Dunn, O. J. (1964). Multiple Comparisons Using Rank Sums. *Technometrics*, 6(3), 241–252.
- Ellis, C. J., Eaton, S., Theodoropoulos, M., y Elliott, K. (2015). *Epiphyte Communities and Indicator Species: An Ecological Guide for Scotland's Woodlands*. Edinburgh: Royal Botanic Garden.
- Elmendorf, S., Henry, G., Hollister, R., Björk, R., Bjorkman, A., Callaghan, T., ... Wookey, P. (2012). Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecology letters*, 15(2), 164–175.
- Fraser, R. H., Lantz, T. C., Olthof, I., Kokelj, S. V., y Sims, R. A. (2014). Warming-induced shrub expansion and lichen decline in the Western Canadian Arctic. *Ecosystems*, 17(7), 1151–1168.
- García, J., Suárez, E., y Zapata-Ríos, G. (2016). An assessment of the populations of *Sylvilagus brasiliensis andinus* in Páramos with different vegetation structures in the northeastern Andes of Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 72–80.
- González, Y., Aragón, G., Benítez, A., y Prieto, M. (2017a). Changes in soil

- cryptogamic communities in tropical Ecuadorean páramos. *Community Ecology*, 18(1), 11–20.
- González, Y., Aragón, G., Burgaz, A. R., y Pietro, M. (2017b). Records of terricolous lichens from páramos of southern Ecuador. *Mycotaxon*, 132(1), 153–175.
- Gorbushina, A., Beck, A., y Schulte, A. (2005). Microcolonial rock inhabiting fungi and lichen photobionts: evidence for mutualistic interactions. *Mycological Research*, 109(11), 1288–1296.
- Graney, J. R., Landis, M. S., Puckett, K. J., Studabaker, W. B., Edgerton, E. S., Legge, A. H., y Percy, K. E. (2017). Differential accumulation of PAHs, elements, and Pb isotopes by five lichen species from the Athabasca Oil Sands Region in Alberta, Canada. *Chemosphere*, 184, 700–710.
- Greenacre, M., y Primicerio, R. (2013). *Measures of Multivariate Analysis of Ecological Data*. Bilbao: Fundación BBVA.
- Guerrero, F. M., y Ramírez, J. M. (2012). El Análisis de Escalamiento Multidimensional: Una Alternativa y un Completo a otras Técnicas Multivariantes. *La Sociología en sus escenarios*, 25.
- Gupta, S., Khare, R., Rai, H., Upreti, D. K., Gupta, R. K., Sharma, P. K., ... Bhattacharya, P. (2014). Influence of macro-scale environmental variables on diversity and distribution pattern of lichens in Badrinath valley, Western Himalaya. *Mycosphere*, 5(1), 229–243.
- Hall, M., Mothes, P., Aguilar, J., Bustillos, J., Ramón, P., Eissen, J. P., ... Yepez, H. (2012). *Los peligros volcánicos asociados con el Antisana*. Quito, Ecuador: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional-Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo IRD.
- Hauck, M. (2009). Global warming and alternative causes of decline in arctic-alpine and boreal-montane lichens in North-Western Central Europe. *Global Change Biology*, 15(11), 2653–2661.
- He, Y., Xu, X., Kueffer, C., Zhang, X., y Shi, P. (2014). Leaf litter of a dominant cushion plant shifts nitrogen mineralization to immobilization at high but not low temperature in an alpine meadow. *Plant and soil*, 383(1–2), 415–426.
- Hestmark, G. (2016). The lichen genus *Umbilicaria* in Ecuador. *Nordic Journal of Botany*, 34, 257–268.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., ... Cerra, M.

- (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN.
- Holzschuh, A. (2016). Does rock climbing threaten cliff biodiversity? - A critical review. *Biological Conservation*, 204, 153–162.
- Jägerbrand, A. K., Lindblad, K. E., Björk, R. G., Alatalo, J. M., y Molau, U. (2006). Bryophyte and lichen diversity under simulated environmental change compared with observed variation in unmanipulated alpine tundra. *Biodiversity & Conservation*, 15(14), 4453–4475.
- Jiménez-Valverde, A., y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar los inventarios biológicos. *Revista Iberica de Aracnología*, 8, 151 – 161.
- Jørgensen, P., y Ardivisón, L. (2002). The lichen genus *Erioderma* (Pannariaceae) in Ecuador and neighbouring countries. *Nordic Journal of Botany*, 22(1), 87–144.
- Jørgensen, P., y Palice, Z. (2010). Additions to the lichen family Pannariaceae in Ecuador. *Nordic Journal of Botany*, 28(5), 623–628.
- Kidron, G. J. (2000). Dew moisture regime of endolithic and epilithic lichens inhabiting limestone cobbles and rock outcrops, Negev Highlands, Israel. *Flora*, 195, 146–153.
- Klanderud, K. (2008). Species-specific responses of an alpine plant community under simulated environmental change. *Journal of Vegetation Science*, 19(3), 363–372.
- Klanderud, K., y Birks, H. J. B. (2003). Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *The Holocene*, 13(1), 1–6.
- Knops, J. M. H., Nash III, T. H., y Schlesinger, W. H. (1996). The Influence of Epiphytic Lichens on the Nutrient Cycling of an Oak Woodland. *Ecological Monographs*, 66(2), 159–179.
- Körner, C. (2009). Conservation of Mountain Biodiversity in the Context of Climate Change. En E. Sharma (Ed.), *International Mountain Biodiversity Conference* (pp. 21–33). Kathmandu: International Centre for Integrated Mountain Development.
- Kruskal, W. H., y Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621.
- Kullman, L. (2010). A richer, greener and smaller alpine world: review and projection of warming-induced plant cover change in the Swedish Scandes. *Ambio*, 39(2),

- 159–169.
- Lindgren, A. R., Buckley, B. A., Eppley, S. M., Reysenbach, A. L., Stedman, K. M., y Wagner, J. T. (2016). Life on the edge—the biology of organisms inhabiting extreme environments: An introduction to the symposium. *Integrative and comparative biology*, 56(4), 493–499.
- Lüking, R., Lawrey, J. D., Sikaroodi, M., Gillevet, P. M., Chaves, J. L., Sipman, H. J., y Bungartz, F. (2009). Do lichens domesticate photobionts like farmers domesticate crops? Evidence from a previously unrecognized lineage of filamentous cyanobacteria. *American Journal of Botany*, 96(8), 1409–1418.
- Malcolm, W. M., y Galloway, D. J. (1997). *New Zealand Lichens: Checklist, key and glossary*. Wellington: Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa.
- Mangiafico, S. (2019). *rcompanion: Functions to Support Extension Education Program Evaluation*.
- Marques, J., Gonçalves, J., Oliveira, C., Favero-Longo, S., Paz-Bermúdez, G., Almeida, R., y Prieto, B. (2016). On the dual nature of lichen-induced rock surface weathering in contrasting microenvironments. *Ecology*, 97(10), 2844–2857.
- Matos-Maraví, P. F., Peña, C., Willmott, K. R., Freitas, A. V. L., y Wahlberg, N. (2013). Systematics and evolutionary history of butterflies in the “Taygetis clade” (Nymphalidae: Satyrinae: Euptychiina): Towards a better understanding of Neotropical biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66, 54–68.
- May, P. (2000). How to collect lichens. Recuperado de <http://www2.huh.harvard.edu/collections/lichens/collecting.html>
- McCune, B., y Grace, J. B. (2002). Diversity Metrics. En *Analysis of Ecological Communities* (pp. 25–35). Oregon: MjM software design.
- Michelsen, O., Syverhuset, A. O., Pedersen, B., y Holten, J. I. (2011). The Impact of Climate Change on Recent Vegetation Changes on Dovrefjell, Norway. *Diversity*, 3(1), 91–111.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Subsecretaría de Patrimonio Natural.
- Molles, M. C. J. (2016). *Ecology: concepts and applications* (7ma ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., ... Rilling, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological

- applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and evolution*, 4(18), 3514–3524.
- Muhammad, N., Hashim, N. H., Khairuddin, N. A., Yusof, H., Jusoh, S., Abas, A., ... Din, L. B. (2018). Identification of most tolerant lichen species to vehicular traffic's pollutants at Batu Pahat area. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 42(1), 57–64.
- Nascimbene, J., Benesperi, R., Giordani, P., Grube, M., Marini, L., Vallese, C., y Mayrhofer, H. (2019). Could Hair-Lichens of High-Elevation Forests Help Detect the Impact of Global Change in the Alps? *Diversity*, 11(3), 45.
- Nascimbene, J., Mayrhofer, H., Dainese, M., y Othmar, P. (2017). Assembly patterns of soil-dwelling lichens after glacier retreat in the European Alps. *Journal of Biogeography*, 44(6), 1393–1404.
- Nash, T. (2008). *Lichen Biology*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Naud, L., Måsviken, J., Freire, S., Angerbjörn, A., Dalén, L., y Dalerum, F. (2019). Altitude effects on spatial components of vascular plant diversity in a subarctic mountain tundra. *Ecology and Evolution*, 9(8), 4783–4795.
- Nelson, P. R., McCune, B., y Swanson, D. K. (2015). Lichen traits and species as indicators of vegetation and environment. *The Bryologist*, 118(3), 252–263.
- Nguyen, K. H., Chollet-Krugler, M., Gouault, N., y Tomasi, S. (2013). UV-protectant metabolites from lichens and their symbiotic partners. *Natural product reports*, 30(12), 1490–1508.
- Nöske, N. M., Hilt, N., Werner, F. A., Brehm, G., Fiedler, K., Sipman, H. J., y Gradstein, S. R. (2008). Disturbance effects on diversity of epiphytes and moths in a montane forest in Ecuador. *Basic and Applied Ecology*, 9(1), 4–12.
- Oksanen, J. ., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., ... Szoecs, E. (2018). *Vegan: Community Ecology Package*.
- Orange, A., James, P. W., y White, F. J. (2013). *Microchemical methods for the identification of lichens* (2a ed.). London: British Lichen Society.
- Pachauri, R. K., y Meyer, L. (2014). *Climate change 2014 Synthesis Report-Summary for Policymakers*.
- Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S. H. M., Watson, J. E. M., Cassola, F. M., y Rondinini, C. (2017). Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nature Climate Change*, 7(3), 205–208.

- Pajunen, A. M., Oksanen, J., y Virtanen, R. (2011). Impact of shrub canopies on understorey vegetation in western Eurasian tundra. *Journal of Vegetation Science*, 22(5), 837–846.
- Palmer, W. H., y Miller, A. K. (1961). Botanical evidence for the recession of a glacier. *Oikos*, 12, 75–86.
- Pardo, A., y Ruiz, M. (2005). *Análisis de datos con SPSS 13 Base*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Paredes, T. (2006). Macrolichens of the Ecological Reserve Páramo El Angel and the Guandera Biological Station. *Lyonia*, 9, 67–73.
- Pauli, H.; Gottfried, M.; Lamprecht, A.; Niessner, S.; Rumpf, S.; Winkler, M.; Steinbauer, K. & Grabherr, G. (2015). *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Métodos básico, complementarios y adicionales*. Recuperado de <http://www.gloria.ac.at/>
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Benito Alonso, J. L., ... Grabherr, G. (2012). Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. *Science*, 336(6079), 353–355.
- Pinokiyo, A., Singh, K. P., y Singh, J. S. (2008). Diversity and distribution of lichens in relation to altitude within a protected biodiversity hot spot, north-east India. *The Lichenologist*, 40(1), 47–62.
- Purdie, R. (2018). Non-vascular flora of Black Mountain: macrofungi, lichens, hornworts, liverworts and mosses. *Black Mountain Symposium 2018 Background Paper No. 4*, 43–71. Canberra: Friends of Black Mountain.
- Purvis, W. (2000). *Lichens*. London: The Natural History Museum.
- Quintanilla, V. (1983). Comparación entre dos ecosistemas tropoandinos: la Puna Chilena y el Páramo Ecuatoriano. *Investigaciones geográficas Chile*, 30, 25–45.
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7(1), 81–102.
- Rai, H., Khare, R., Baniya, C. B., Upreti, D. K., y Gupta, R. K. (2015). Elevational gradients of terricolous lichen species richness in the Western Himalaya.

Biodiversity and Conservation, 24(5), 1155-1174.

- Rapai, S. B., McMullin, T., y Newmaster, S. G. (2012). The importance of macrolichen traits and phylogeny in forest community assemblage along a high elevation gradient in southwestern British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 274, 231–240.
- Redón, J. (1985). *Líquenes Antárticos*. Santiago de Chile: Instituto Antártico Chileno (INACH).
- Richardson, D. H. S. (1999). War in the world of lichens: parasitism and symbiosis as exemplified by lichens and lichenicolous fungi. *Mycological Research*, 103(6), 641–650.
- Ricotta, C., y Podani, J. (2017). On some properties of the Bray-Curtis dissimilarity and their ecological meaning. *Ecological Complexity*, 31, 201–205.
- Rivera, E. (2018). *Prueba H de Kruskal-Wallis para diseños completamente aleatorizados* (pp. 3–11). pp. 3–11. México: Universidad Autónoma de Coahuila.
- Rosabal, D., Burgaz, A. R., y Reyes, O. J. (2013). Substrate preferences and phorophyte specificity of corticolous lichens on five tree species of the montane rainforest of Gran Piedra, Santiago de Cuba. *The Bryologist*, 116(2), 113–121.
- Rundel, P. W., y Millar, C. I. (2016). Alpine ecosystems. En E. Zavaleta & H. Mooney (Eds.), *Ecosystems of California* (pp. 613–634). California: University of California Press.
- Ryan, B. D., Bungartz, F., Hagedorn, G., y Rambold, G. (2005). LIAS glossary – A Wiki-based Online Dictionary for Ascomycete Terminology used by LIAS, the Global Information System for Lichenized and Non-Lichenized Ascomycetes. Recuperado el 21 de agosto de 2019, de https://glossary.lias.net/wiki/Main_Page
- Salgado, S., Cuesta, F., Báez, S., Medina-Torres, B., Josse, C., Romoleroux, K., y PMV. (2013). HsSn02 Herbazal del Páramo. En R. Galeas, J. E. Guevara, B. Medina-Torres, M. Á. Chinchero, & X. Herrera (Eds.), *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. (pp. 139–141). Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Sancho, L., Pintado, A., y Green, T. G. (2019). Antarctic Studies Show Lichens to be Excellent Biomonitors of Climate Change. *Diversity*, 11(3), 42.
- Sanderson, N. A., Wilkins, T. C., Bosanquet, S. D. ., y Genney, D. . (2018). Lichens and associated microfungi. En I. Bainbridge, A. Brown, N. Burnett, P. Corbett, C.

- Cork, R. Ferris, ... P. Casement (Eds.), *Guidelines for the Selection of Biological SSSIs. Part 2: Detailed Guidelines for Habitats and Species Groups*. Peterborough: Joint Nature Conservation Committee.
- Sapp, J. (1994). *Evolution by Association: A History of Symbiosis*. New York: Oxford University press.
- Schwinning, S. (2010). The ecohydrology of roots in rocks. *Ecohydrology*, 3(2), 238–245.
- Serpe, M. D., Roberts, E., Eldridge, D. J., y Rosentreter, R. (2013). Bromus tectorum litter alters photosynthetic characteristics of biological soil crusts from a semiarid shrubland. *Soil Biology and Biochemistry*, 60, 220–230.
- Serrano, D., y Galárraga, R. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios geográficos*, 75(1), 369–393.
- Shapiro, S., y Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust*, 52(3/4), 591–611.
- Sipman, H. J. M. (2002). The significance of the Northern Andes for Lichens. *The Botanical Review*, 68(1), 88–99.
- Sipman, H. J. M. (2011). Diversity of Lichenized Fungi in the Tropical Andes. En S. K. Herzog, R. Martínez, P. Jørgensen, & H. Tiessen (Eds.), *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes* (pp. 220–223). Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
- Sklenář, P., Kovář, P., Palice, Z., Stančík, D., y Soldán, Z. (2010). Primary succession of high-altitude Andean vegetation on lahars of Volcán Cotopaxi, Ecuador. *Phytocoenologia*, 40(1), 15–28.
- Sklenář, P., Kučerová, A., Macková, J., y Macek, P. (2015). Temporal variation of climate in the high-elevation páramo of Antisana, Ecuador. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 38(1), 67–78.
- Sklenář, P., Kučerová, A., Macková, J., y Romoleroux, K. (2016). Temperature Microclimates of Plants in a Tropical Alpine Environment: How Much does Growth Form Matter? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(1), 61–78.
- Slymaker, O. (2011). Criteria to Distinguish Between Periglacial, Proglacial and Paraglacial Environments. *Quaestiones Geographicae*, 30(1), 85–94.

- Smith, R. J., Jovan, S., y McCune, B. (2017). *Lichen communities as climate indicators in the US Pacific States*. Portland.
- Sokal, R., y Rohlf, J. (2012). *Biometry: The Principles And Practice of Statistics In Biological Research*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., ... McCutcheon, J. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488–492.
- Stanisci, A., Pelino, G., y Blasi, C. (2005). Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity & Conservation*, 14(6), 1301–1318.
- Syers, J. K., y Iskandar, I. K. (1973). Pedogenetic significance of lichens. En V. Ahmadjian & E. H. Hale (Eds.), *The lichens* (pp. 225–248). New York.
- Theurillat, J.-P., Iocchi, M., Cutini, M., y De Marco, G. (2010). Vascular plant richness along an elevation gradient at Monte Velino (Central Apennines, Italy). *Biogeographia—The Journal of Integrative Biogeography*, 28(1).
- Tirira, D. (2007). *Guía de campo de los mamíferos del Ecuador*. Quito: Ediciones Murciélago Blanco.
- Urrutia, R., y Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D2).
- Vanneste, T., Michelsen, O., Graae, B. J., Kyrkjeide, M., Holien, H., Hassel., K., ... De Frenne, P. (2017). Impact of climate change on alpine vegetation of mountain summits in Norway. *Ecological Research*, 32(4), 579–593.
- Varol, M. (2018). Lichens as a Promising Source of Unique and Functional Small Molecules for Human Health and Well-Being. En A. Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (pp. 425–458). Oxford: Elsevier.
- VijayaVenkataRaman, S. Iniyana, S., y Goic, R. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 878–897.
- Vittoz, P., Camenisch, M., Mayor, R., Miserere, L., Vust, M., y Theurillat, J.-P. (2010). Subalpine-nival gradient of species richness for vascular plants, bryophytes and lichens in the Swiss Inner Alps. *Botanica Helvetica*, 120, 139–149.
- Walton, D. (2012). Colonization of Terrestrial Habitats—Organisms, Opportunities. En

- K. R. Kerry & G. Hempel (Eds.), *Antarctic Ecosystems: Ecological Change and Conservation* (pp. 51–60). Hobart: Springer Science & Business Media.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Wilson, S. D., y Nilsson, C. (2009). Arctic alpine vegetation change over 20 years. *Global Change Biology*, *15*(7), 1676–1684.
- Winkler, M., Lamprecht, A., Steinbauer, K., Hülber, K., Theurillat, J. P., Breiner, F., ... Pauli, H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *Journal of Biogeography*, *43*(11), 2261–2273.
- Wolf, J. H. (1993). Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, *80*(4), 928–960.
- Yap, B. W., y Sim, H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, *81*(12), 2141–2155.
- Zazulie, N., Rusticucci, M., y Raga, G. B. (2017). Regional climate of the Subtropical Central Andes using high-resolution CMIP5 models. Part II: future projections for the twenty-first century. *Climate Dinamics*, 1–13.

10. FIGURAS

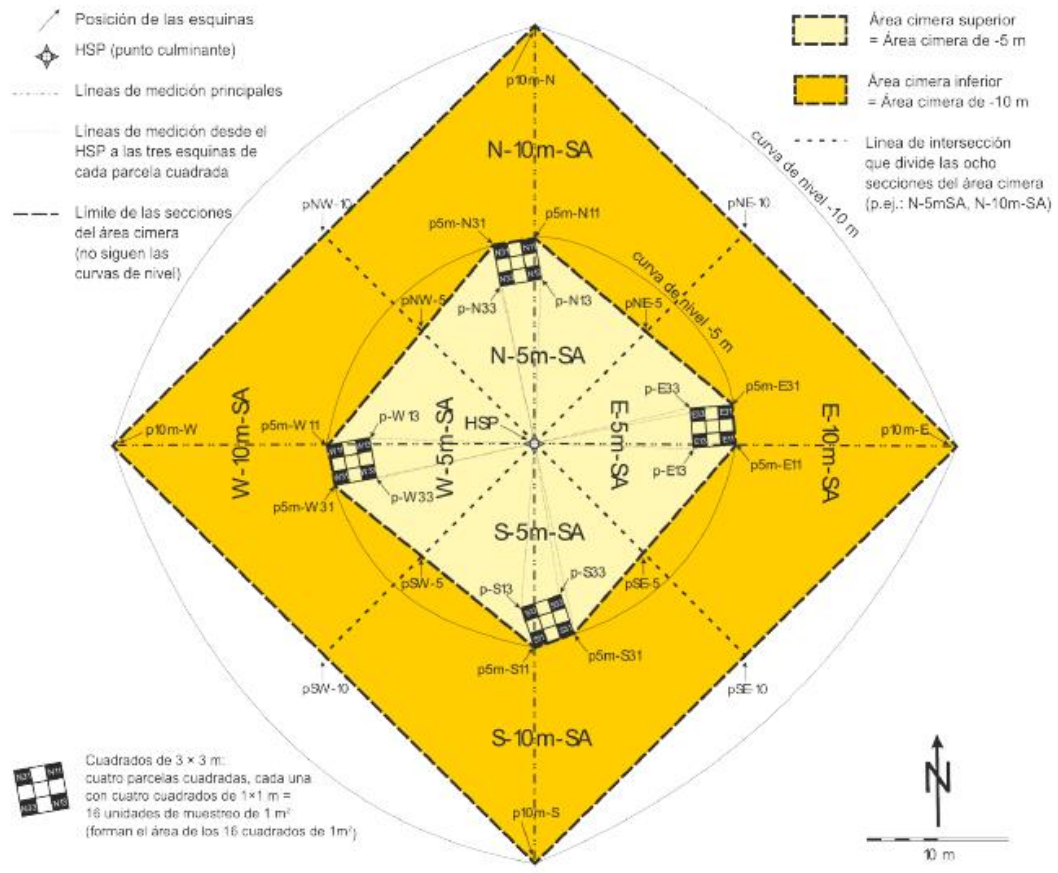


Figura 1. Esquema del diseño de las cumbres de la Iniciativa GLORIA. En color amarillo claro se encuentra el área cimera de 5 m y en amarillo oscuro el área de 10 m. Tomado de Pauli et al. (2015).

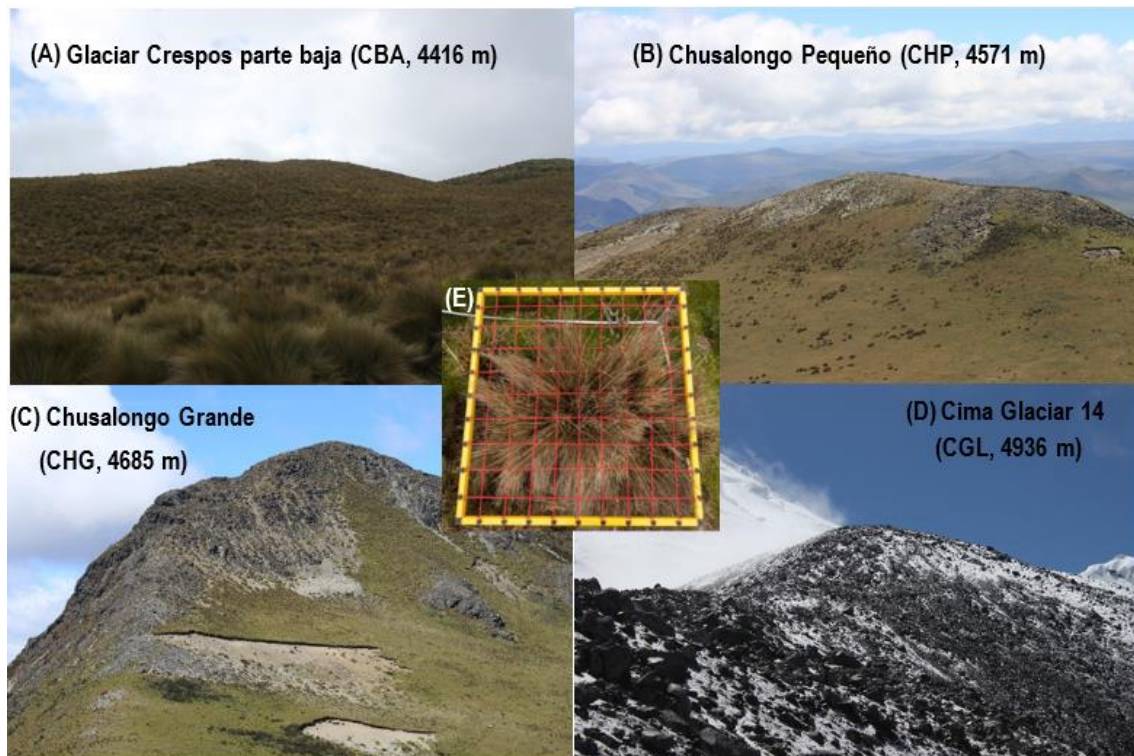


Figura 2. Cimas del sitio GLORIA Antisana (ECANT): A) Cima Glaciar Crespos parte baja (CBA, 4416 m), B) Chusalongo Pequeño (CHP, 4571 m), C) Chusalongo Grande (CHG, 4685 m), D) Cima Glaciar 14 (CGL, 4936 m). E) Marco de 1 x 1m, dividido en subunidades de 10 x 10 cm, utilizado para los muestreos en las diferentes cimas. Fotografías: Red GLORIA-Andes.

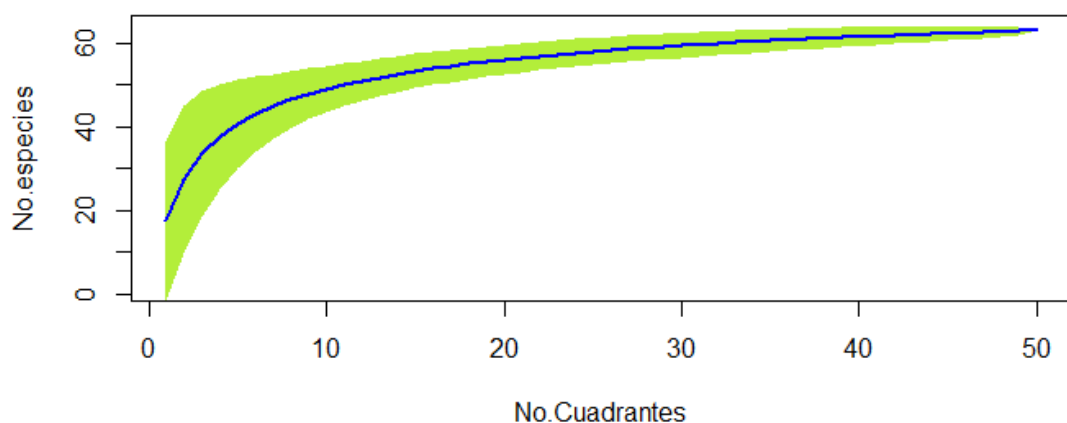


Figura 3. Curva de acumulación de especies. El eje “x” representa el número de cuadrantes muestreados, el eje “y” representa el número de especies encontradas. La curva llega a una asíntota por lo que se puede decir que el esfuerzo de muestreo fue suficiente.

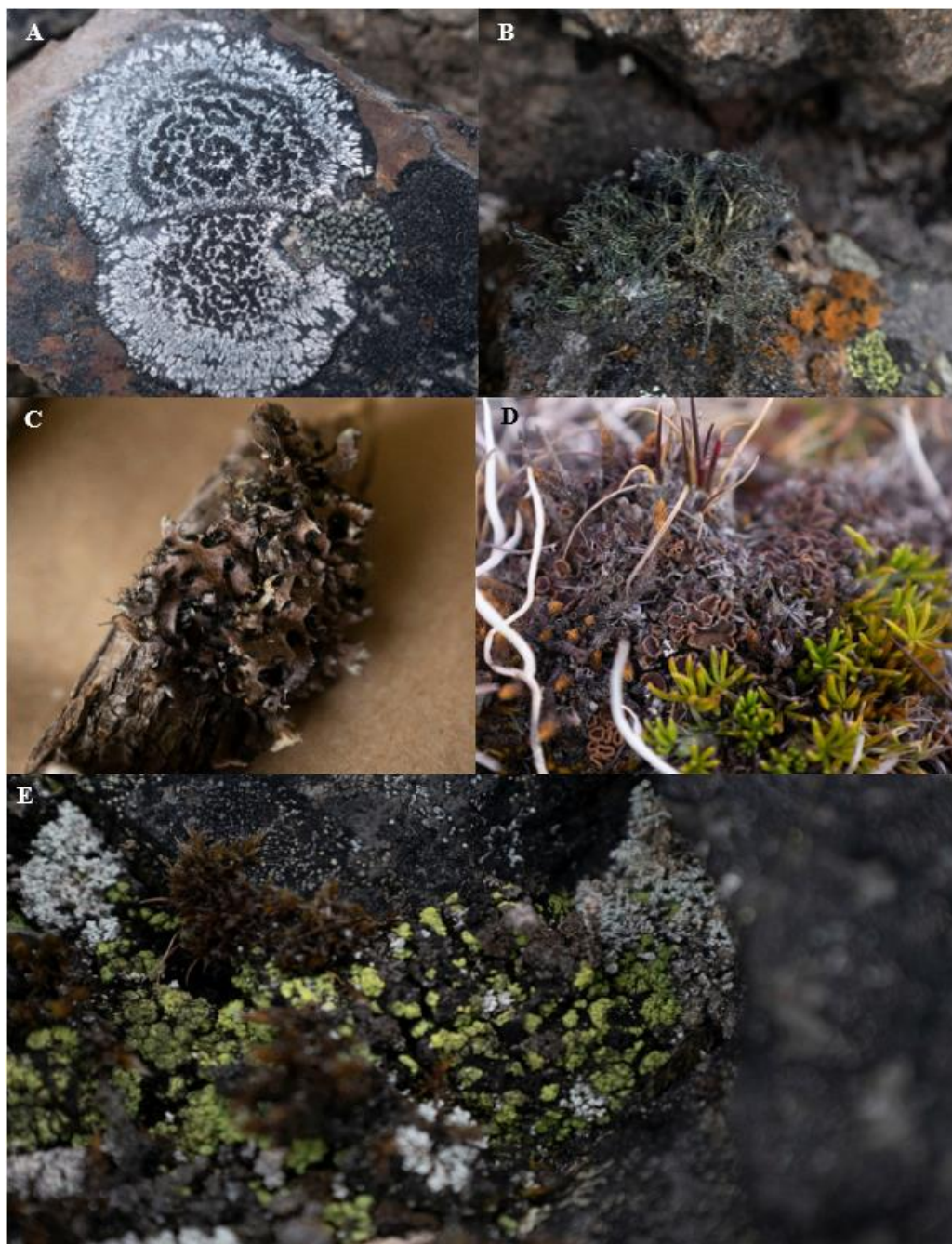


Figura 4. Representantes de las formas de crecimiento: A) Crustoso, B) Fruticuloso, C) folioso, D) escumuloso y E) leproso.

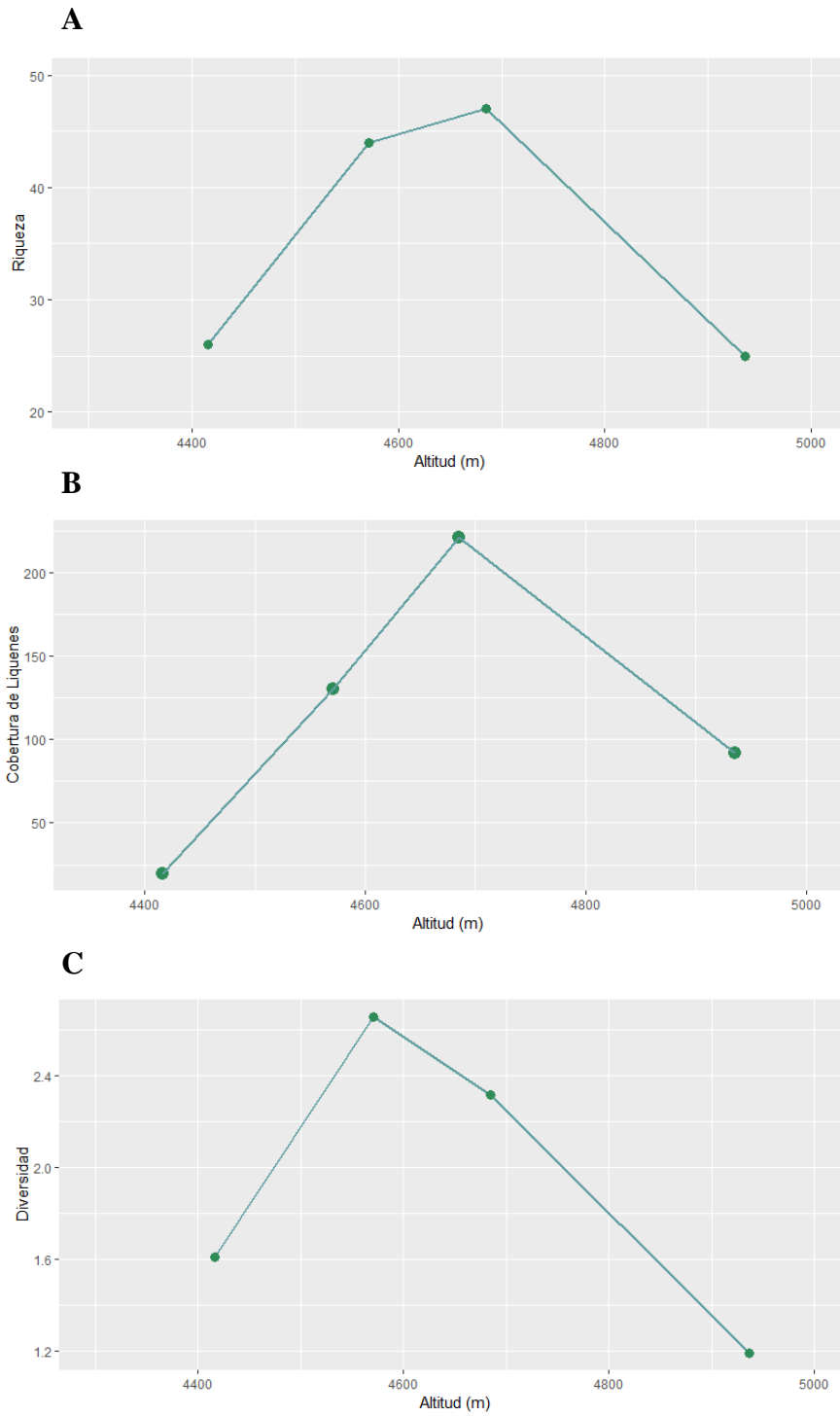


Figura 5. Medidas de A) riqueza de especies, B) cobertura, y C) diversidad de líquenes en relación a la altitud en el sitio Gloria Antisana.

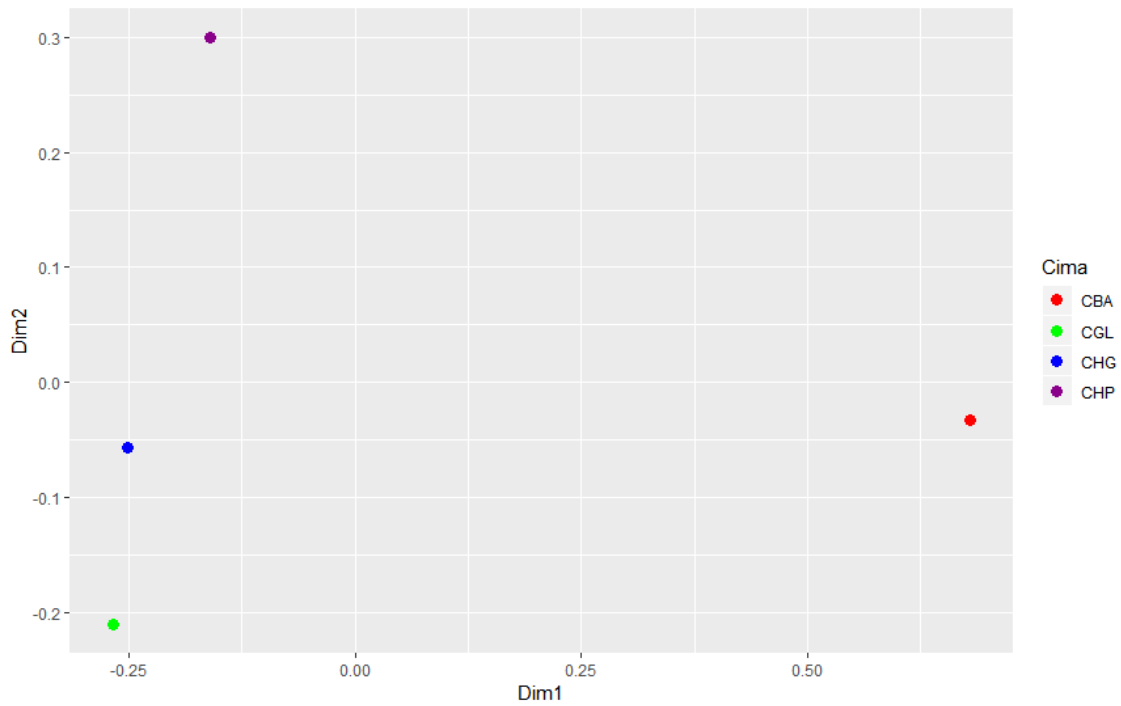


Figura 6. Escalamiento multidimensional no métrico (NDMS) entre las comunidades de líquenes presentes en las cimas del sitio GLORIA Antisana a partir de las distancias obtenidas del índice de disimilaridad de Bray-Curtis (BC). Cima baja: CBA (rojo); Chusalongo Pequeño: CHP (azul); Chusalongo Grande: CHG (morado); Cima Glaciar: CGL (verde). CBA fue la cima más distinta de las cuatro cimas (BC= 0,907 con CHP, BC=0,961 con CHG y BC=0,980 con CGL).

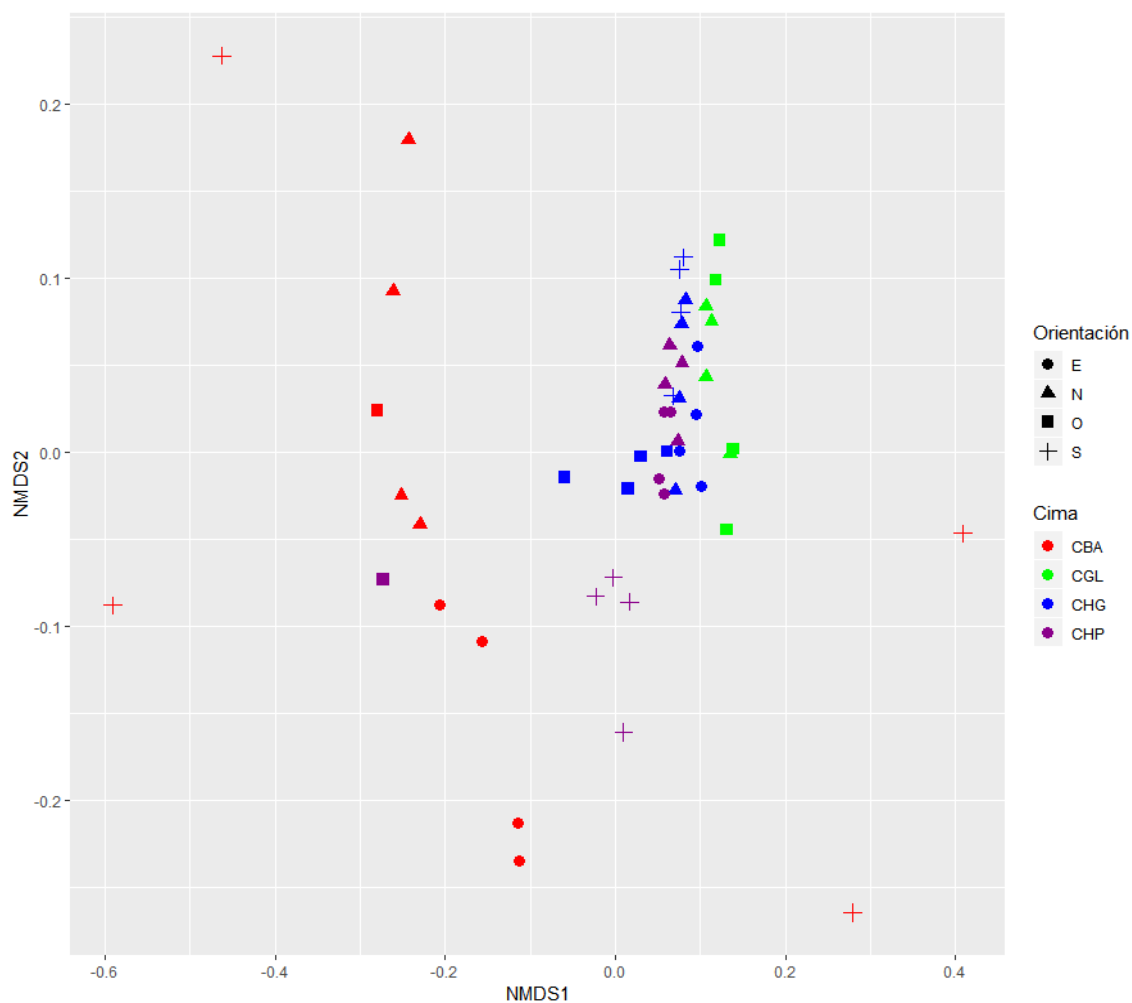


Figura 7. Escalamiento multidimensional no métrico (NDMS) entre las comunidades de líquenes presentes en los cuadrantes a partir de las distancias obtenidas del índice de disimilaridad de Bray-Curtis. Cada punto representa un cuadrante, las formas de los puntos representan a las orientaciones (círculo: Este, triángulo: Norte, cuadrado: Oeste, cruz: Sur) y los colores las diferentes cimas —Cima baja: CBA (rojo); Chusalongo Pequeño: CHP (azul); Chusalongo Grande: CHG (morado); Cima Glaciar: CGL (verde)—. Los cuadrantes de CHG, CGL y casi todos los de CHP se encuentran aglomerados ya que son similares. Los cuadrantes de CBA se encuentran alejados del resto y cercanos al cuadrante Oeste de CHP.

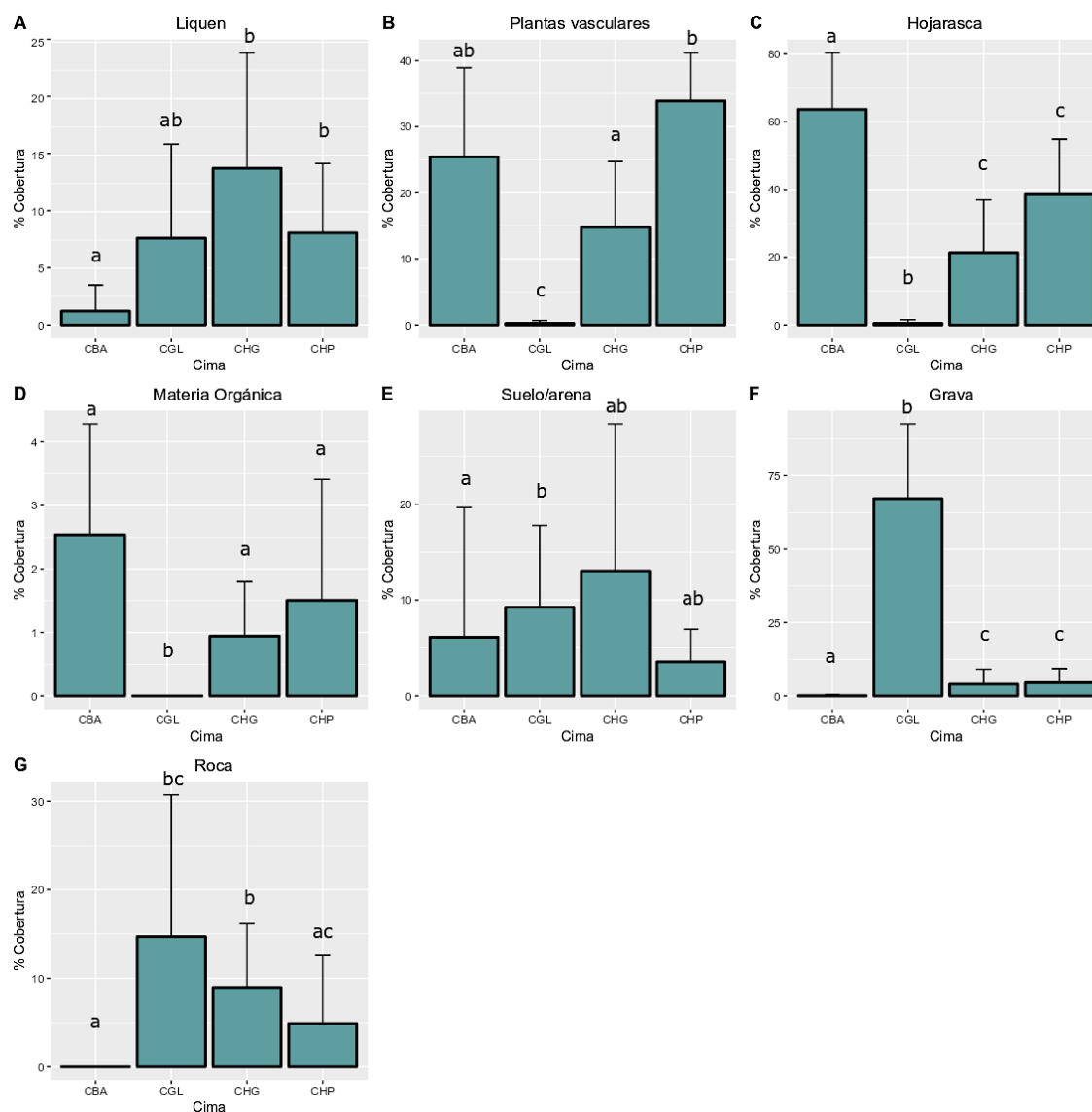


Figura 8. Cobertura de (A) Liquen, (B) Plantas vasculares, (C) Hojarasca, (D) Materia orgánica, (E) Suelo/arena, (F) Grava, y (G) Roca en las cuatro cimas. Cada barra representa el promedio encontrado del sustrato en la cima, la línea sobre las barras el error de la desviación estándar y las letras sobre las barras los resultados de la prueba de Dunn, si comparten una letra no son significativamente diferentes. La Cima Glaciar 14 (CGL) y la Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA) son diferentes a las demás ya que se encuentran dominadas por un sustrato (hojarasca y grava, respectivamente).

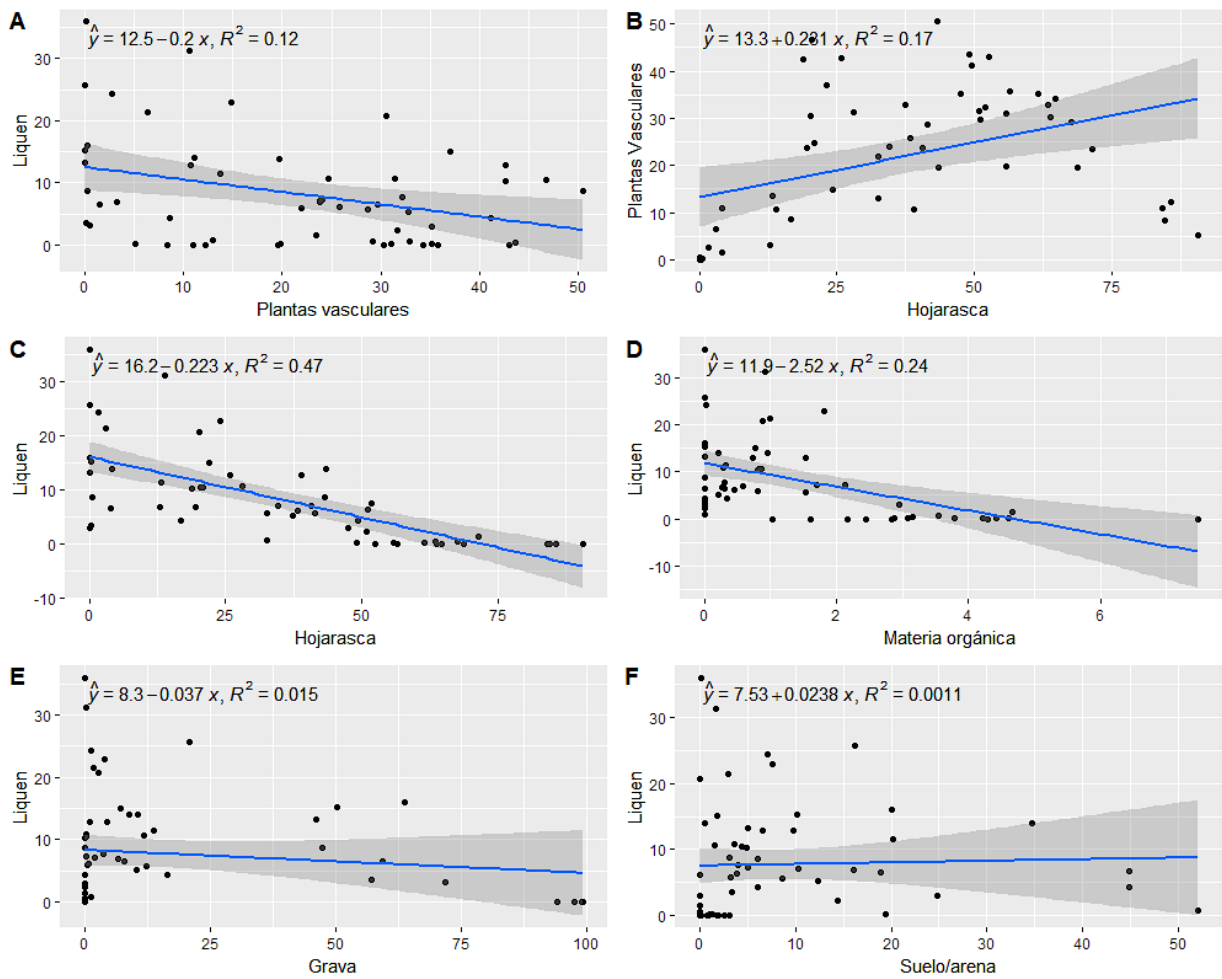


Figura 9. Regresión lineal entre cobertura de (A) líquenes y plantas vasculares ($R^2 = 0,12$, valor $p < 0,01^{}$), (B) plantas vasculares y hojarasca ($R^2 = 0,17$, $p < 0,01^*$), (C) líquenes y hojarasca ($R^2 = 0,47$, $p < 0,0001^{***}$), (D) liquen y materia orgánica ($R^2 = 0,24$, $p < 0,001^{**}$), (E) liquen y grava ($R^2 = 0,015$, $p > 0,1$), (F) liquen y suelo/arena ($R^2 = 0,0011$, valor $p > 0,1$). Cada eje representa la cobertura de un sustrato. Códigos de significancia: $p < 0,0001^{***}$, $p < 0,001^{**}$, $p < 0,01^*$.**

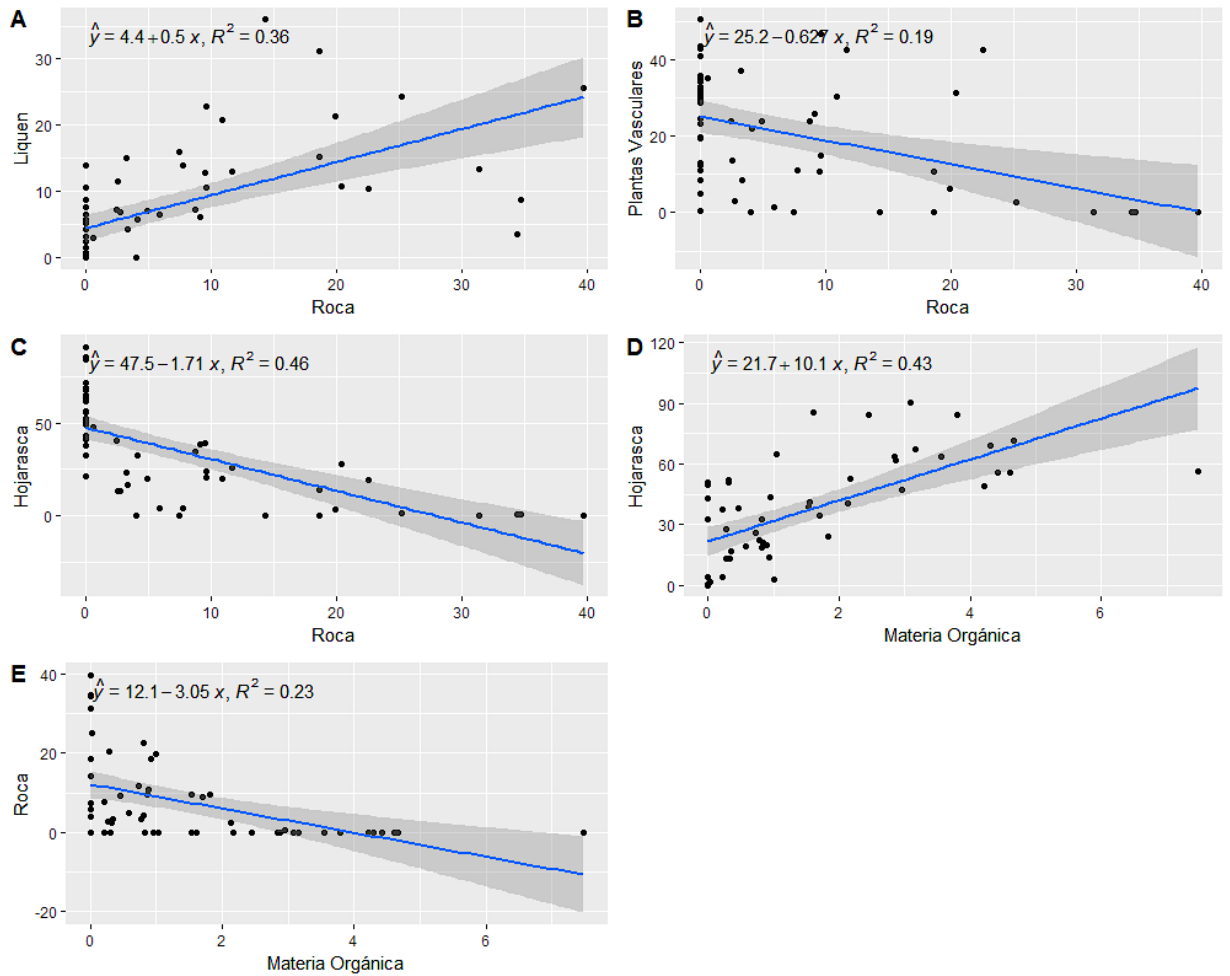


Figura 10. Regresión lineal entre cobertura de (A) líquen y roca ($R^2 = 0,36$ - $p < 0,0001^{*}$), (B) plantas vasculares y roca ($R^2 = 0,19$, $p < 0,001^{**}$), (C) hojarasca y roca ($R^2 = 0,46$, $p < 0,0001^{***}$), (D) hojarasca y materia orgánica ($R^2 = 0,43$, $p < 0,0001^{***}$), (E) roca y materia orgánica ($R^2 = 0,23$, $p < 0,001^{**}$). Cada eje representa la cobertura de un sustrato. Códigos de significancia: $p < 0,0001^{***}$, $p < 0,001^{**}$, $p < 0,01^*$.**

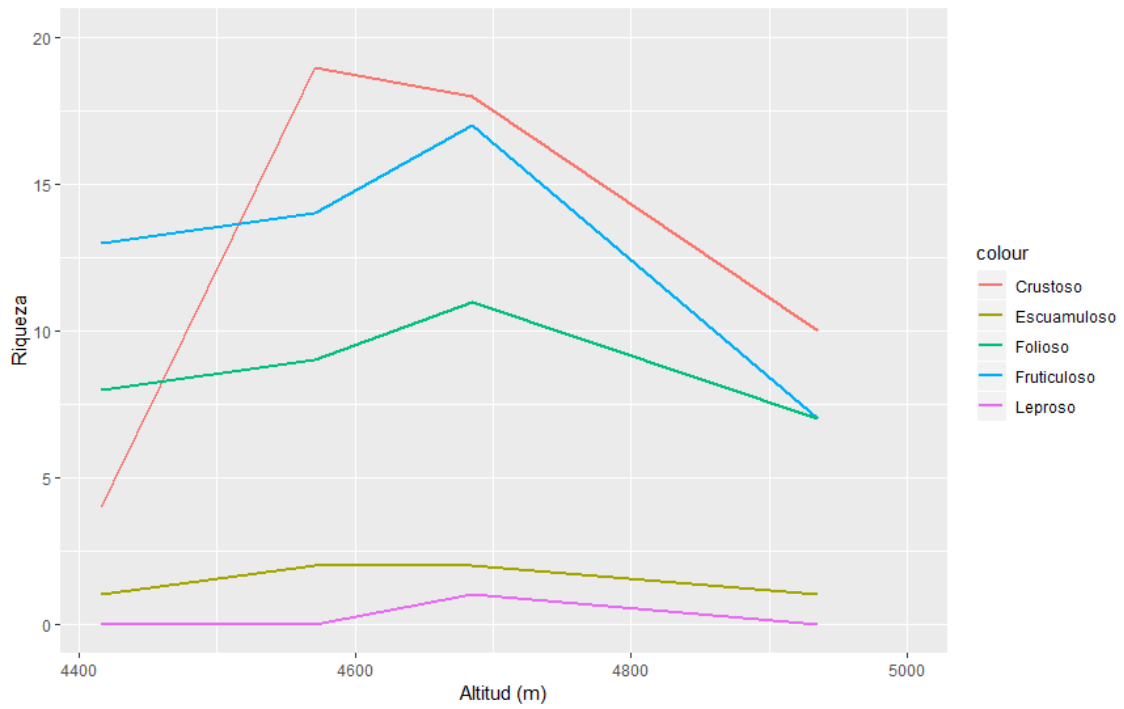


Figura 11. Distribución de las formas de crecimiento en la gradiente altitudinal.

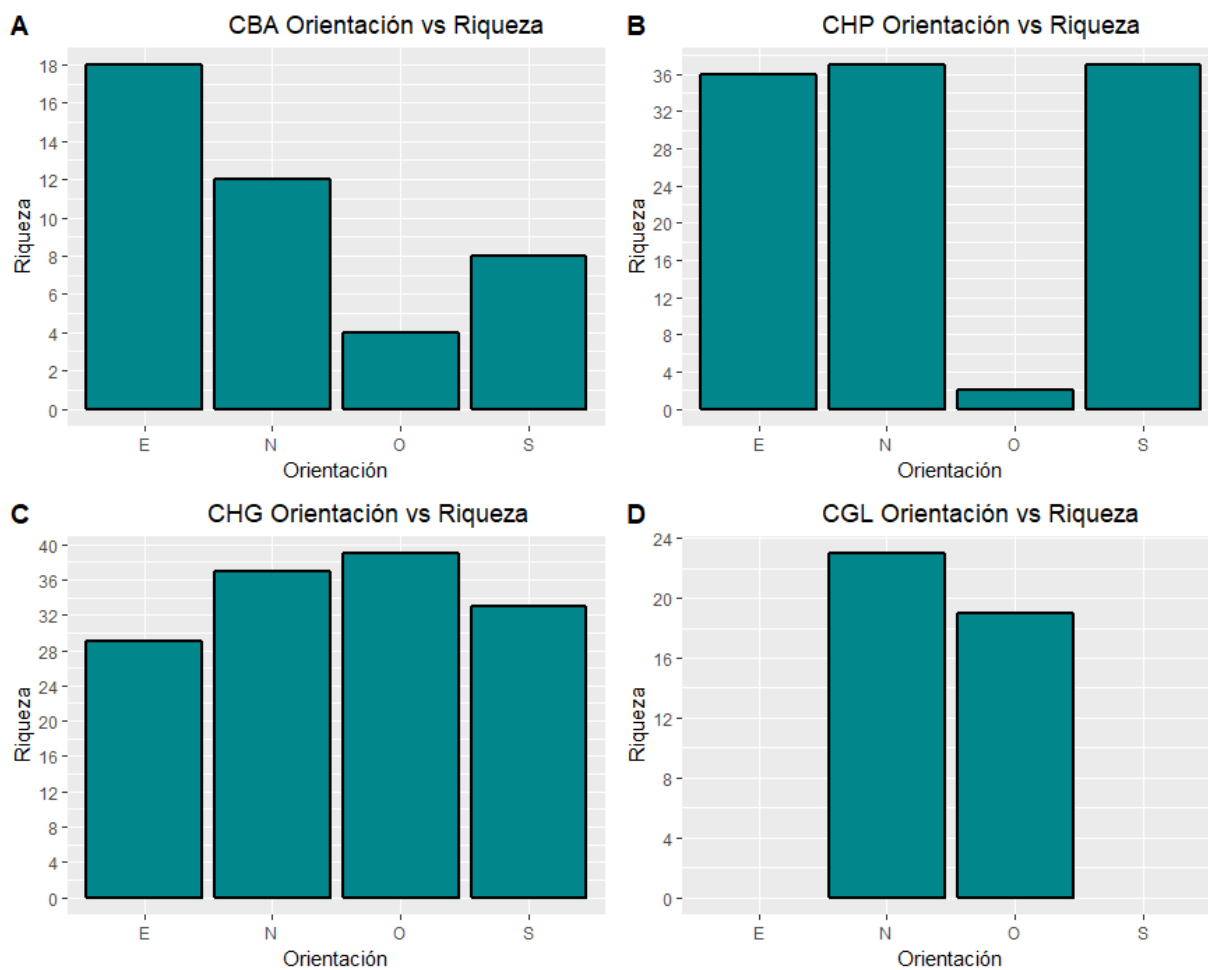


Figura 12. Riqueza de especies de líquenes por orientación de cada cima. En A) Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), B) Chusalongo Pequeño (CHP), C) Chusalongo Grande (CHG) y D) Cima Glaciar 14 (CGL)

11. TABLAS

Tabla 1. Riqueza, índice de Shannon y Equidad de Pielou de los líquenes colectados en las diferentes cimas.

	CBA	CHP	CHG	CGL
Riqueza (No. especies)	26	44	47	25
Índice de Shannon	1,613	2,656	2,316	1,186
Equidad de Pielou	0,495	0,702	0,601	0,369

Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), Chusalongo Pequeño (CHP), Chusalongo Grande (CHG), Cima Glaciar 14 (CGL).

Tabla 2. Índice de disimilaridad de Bray-Curtis de morfoespecies de líquenes entre las distintas cimas.

	CBA	CHP	CHG
CHP	0,907		
CHG	0,961	0,484	
CLG	0,980	0,530	0,439

Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), Chusalongo Pequeño (CHP), Chusalongo Grande (CHG), Cima Glaciar 14 (CGL).

Tabla 3. Porcentaje promedio de cobertura de microhábitats (sustratos) en las cimas.

Cima	Lique n	Plantas vasculares	Hojarasca	Materia orgánica	Suelo y arena	Grava	Roca
CBA	1,22	25,44	63,65	2,54	6,14	0,07	0,00
CHP	8,13	33,91	38,53	1,51	3,55	4,47	4,91
CHG	13,85	14,78	21,36	0,94	13,04	4,00	8,98
CGL	7,67	0,23	0,44	0,00	9,25	67,23	14,70

Cima Glaciares Crespos parte baja (CBA), Chusalongo Pequeño (CHP), Chusalongo Grande (CHG), Cima Glaciar 14 (CGL).

Tabla 4. Riqueza de especies, Índice de Shannon y Equidad de Pielou en cada orientación de la Cima Glaciares Crespos Parte Baja (CBA), el Chusalongo Pequeño (CHP), el Chusalongo Grande (CHG) y la Cima Glaciar 14 (CGL).

Cima	Orientación	Riqueza	Índice de Shannon	Equidad de Pielou
CBA	N	12	2,360	0,950
CBA	S	8	1,282	0,616
CBA	E	18	1,050	0,363
CBA	O	4	1,263	0,911
CHP	N	37	2,194	0,607
CHP	S	37	2,492	0,690
CHP	E	36	2,463	0,687
CHP	O	2	0,692	0,998
CHG	N	37	2,200	0,609
CHG	S	33	2,096	0,599
CHG	E	29	1,933	0,574
CHG	O	39	2,873	0,784
CGL	N	23	1,341	0,428
CGL	S	0	0,000	0,000
CGL	E	0	0,000	0,000
CGL	O	19	0,994	0,338

12. ANEXOS

Anexo 1. Lista de morfoespecies

	LISTA DE MORFOESPECIES	FAMILIA	CBA	CHP	CHG	CGL
1	<i>Buellia</i> gris	Caliciaceae		X	X	X
2	<i>Buellia</i> infla azul	Caliciaceae		X	X	
3	<i>Buellia</i> negra	Caliciaceae		X	X	X
4	<i>Buellia</i> ptos. blancos	Caliciaceae		X	X	X
5	<i>Bryoria</i> sp.1	Parmeliaceae			X	X
6	<i>Caloplaca</i> sp.1	Teloschistaceae	X	X	X	
7	<i>Caloplaca</i> sp.2	Teloschistaceae		X	X	X
8	<i>Carbonea</i> vorticosa	Lecanoraceae		X	X	
9	<i>Cetraria</i> sp.1	Parmeliaceae		X	X	X
10	<i>Chrysotrix</i> sp.1	Chrysothricaceae			X	
11	<i>Cladonia</i> blanca	Cladoniaceae			X	
12	<i>Cladonia</i> cachitos	Cladoniaceae	X			
13	<i>Cladonia</i> cf. <i>chlorophaea</i>	Cladoniaceae	X	X	X	
14	<i>Cladonia</i> cf. <i>pulvinella</i>	Cladoniaceae	X	X	X	
15	<i>Cladonia</i> copas copas sp.2	Cladoniaceae	X			
16	<i>Cladonia</i> isabellina	Cladoniaceae	X		X	
17	<i>Cladonia</i> sp.2	Cladoniaceae	X	X	X	X
18	<i>Cladonia</i> sp.3	Cladoniaceae	X		X	
19	<i>Cladonia</i> talo café	Cladoniaceae	X	X	X	
20	<i>Cladonia</i> talo verde	Cladoniaceae	X			
21	<i>Cladonia</i> verde	Cladoniaceae	X	X	X	
22	<i>Cladonia</i> verde país	Cladoniaceae	X			
23	<i>Cora</i> sp.1	Hygrophoraceae		X	X	X
24	<i>Cora</i> sp.2	Hygrophoraceae			X	
25	<i>Dimelaena</i> sp.1	Caliciaceae		X		
26	<i>Diploschistes</i> sp.1	Graphidaceae	X	X	X	
27	<i>Hypogymnia</i> sp.1	Parmeliaceae	X	X	X	
28	<i>Hypotrachyna</i> blanca	Parmeliaceae	X			
29	<i>Hypotrachyna</i> café	Parmeliaceae	X			
30	<i>Hypotrachyna</i> chuquiragua	Parmeliaceae		X		
31	<i>Hypotrachyna</i> sp.1	Parmeliaceae			X	
32	<i>Hypotrachyna</i> sp.2	Parmeliaceae			X	
33	<i>Lecanora</i> sp.1	Lecanoraceae		X	X	X
34	<i>Megaspora</i> verrucosa	Megasporaceae	X	X	X	
35	<i>Mycoblastus</i> sp.1	Tephromelataceae	X	X	X	X
36	<i>Oropogon</i> sp.1	Parmeliaceae		X	X	

37	<i>Peltigera cf. andensis</i>	Peltigeraceae	X	X	X	X
38	<i>Peltigera sp.2</i>	Peltigeraceae	X	X	X	X
39	<i>Peltigera sp.3</i>	Peltigeraceae	X			
40	<i>Placopsis sp.1</i>	Trapeliaceae			X	
41	<i>Psoroma sp.1</i>	Pannariaceae		X	X	X
42	<i>Punctelia sp.1</i>	Parmeliaceae			X	
43	<i>Rhizocarpon</i> <i>Geographicum</i> cf.	Rhizocarpaceae		X	X	X
44	<i>Rhizocarpon blanco</i>	Rhizocarpaceae		X	X	X
45	<i>Leprocaulon</i> <i>Arbuscula</i> cf.	Leprocaulaceae		X	X	
46	<i>Stereocaulon</i> <i>Vesuvianum</i> cf.	Stereocaulaceae	X	X	X	X
47	<i>Stereocaulon sp.1</i>	Stereocaulaceae		X	X	X
48	<i>Stereocaulon didymicum</i>	Stereocaulaceae			X	X
49	<i>Stereocaulon glareosum</i>	Stereocaulaceae		X		
50	<i>Stereocaulon obesum</i>	Stereocaulaceae		X		X
51	<i>Sticta sp.1</i>	Lobariaceae	X			
52	<i>Thamnia vermicularis</i>	Icmadophilaceae	X	X	X	
53	<i>Umbilicaria aprina</i>	Umbilicariaceae		X	X	X
54	<i>Umbilicaria</i> <i>nylanderiana</i>	Umbilicariaceae		X	X	X
55	<i>Usnea sp.1</i>	Parmeliaceae		X	X	X
56	<i>Verrucaria sp.1</i>	Verrucariaceae		X		
57	<i>Xanthoparmelia sp.1</i>	Parmeliaceae	X	X	X	X
58	Coposo café oscuro	Morfoespecie	X	X	X	
59	Crustoso verrugas café	Morfoespecie		X	X	X
60	Crustoso infla verde	Morfoespecie		X	X	
61	Folioso naranja	Morfoespecie		X		X
62	Crustoso café ptos. negros	Morfoespecie		X		
63	Cladonia sin copas	Morfoespecie		X		

Descripción de las morfoespecies

Buellia negra

Talo: crustoso, hasta 4 cm de diámetro, color de negro a gris, rimoso. Protalo color negro. *Apotecio*: lecideino, hasta 1mm de diámetro, discos convexos, negros, epruinosos. *Esporas*: café a grises, uniseptadas, oblongas. *Pruebas químicas*: Himenio I+ azul. *Ecología*: Saxícola.

Buellia gris

Talo: crustoso, color gris, rimoso. Protalo negro. *Apotecio:* lecideino, color negro, discos planos o convexos, hasta 0,5 mm de diámetro, epruinosos. Ocho esporas por asco, *Esporas:* café a grises, uniseptadas, oblongas. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul. *Ecología:* Saxícola.

Buellia infla azul

Talo: Crustoso, gris-azulado, ampollado (bullado), con líneas color negro. *Apotecio:* lecideino, 0,5 mm de diámetro, planos a convexos, color negro, epruinosos. *Esporas:* café a grises, uniseptadas elipsoidal. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul. *Ecología:* Muscícola/terricola.

Buellia ptos. blancos

Talo: crustoso, negro y blanco, rimoso. Protalo negro. *Apotecios:* lecideinos, color negro, discos planos a convexos. *Esporas:* café a grises, uniseptadas, elipsoidales. Picnidios globosos. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul. *Ecología:* Saxícola.

Bryoria sp.1

Talo: fruticuloso, en forma de barba, color café oscuro, de tamaño pequeño, ramas con tejido compacto. *Ecología:* creciendo debajo de rocas salidas.

Caloplaca sp.1

Talo: crustoso, placoideo, color naranja, aproximadamente 2 cm de diámetro. *Apotecios:* numerosos, lecideinos, sésiles, discos convexos de color naranja. *Esporas:* elipsoidales, polarilocular, con un istmo, uniseptadas. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul, K+ rosado. *Ecología:* Saxícola.

Caloplaca sp.2

Talo: Crustoso, color gris. *Apotecios:* lecideinos de color naranja, discos planos. *Esporas:* elipsoidales, polarilocular, con un istmo, uniseptadas. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul, K+ rosado. *Ecología:* creciendo en materia orgánica (parte muerta de una almohadilla).

Carbonea vorticosa

Talo: Crustoso, color café, endolítico a rimoso. *Apotecios:* no estaban presentes en la muestra. *Pruebas químicas:* K -. *Ecología:* saxícola.

Cetraria sp.1

Talo: fruticuloso, en forma de un arbusto pequeño, continuo, color café rojizo, ramificado generalmente dicótomo en los ápices, de 1-2 cm de alto, centro del talo compacto. *Ecología:* terrícola, muscícula.

Chrysotrix sp.1

Talo: leproso, esparcido irregularmente, color verde. *Ecología:* terrícola

Cladonia blanca

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas color café. *Podecio:* cifoso (copas) hasta 1,5 cm de largo y 3 mm de ancho, color blanco verdoso, ancho de la copa 3 mm de diámetro, copas de varios tamaños. *Ecología:* creciendo en materia orgánica.

Cladonia cachitos

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas color blanco sumamente pequeñas (<1mm). *Podecio:* cilíndrico, con ramificaciones dicotómicas en el ápice de algunos podecios hasta 2 cm de largo y 1 mm de ancho, color café hacia el ápice y blanco verdoso hacia la base, corticado. *Ecología:* terrícola.

Cladonia cf. chlorophaea

Talo: fruticuloso, talo primario con escuamulas ascendentes color café y blanco. *Podecio:* cifoso (copas) hasta 1 cm de largo, hasta 3 mm de ancho, color verde con un poco de rosado o café, ancho de la copa 5mm de diámetro. *Ecología:* terrícola.

Cladonia cf. pulvinella

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas lobadas grandes de hasta 4 mm x 3 mm. *Podecio:* cifoso 0,8-1 cm de largo, copas de 6 mm de diámetro de color café oscuro, con verrugas. *Ecología:* terrícola.

Cladonia copas copas sp.2

Talo: Fruticuloso, talo primario escuamuloso, color café. *Podecio:* cifoso, 1,5 cm de largo y 3 mm de ancho. Copas creciendo de los bordes de las copas más grandes. *Ecología:* Terrícola.

Cladonia isabellina

Talo: Fruticuloso, talo primario no observado. *Podecio:* abundantes, color café oscuro hasta 6 cm de largo y 5 mm de ancho, muy delgado, es verticilado cifoso, es decir de las copas sale otra copa. *Ecología:* Terrícola.

Cladonia sp.2

Talo: Fruticuloso, talo primario escuamuloso, escuamulas de aproximadamente 2 mm, color café. *Podocio:* cilíndrico de 2,5 cm de largo y 1 mm de ancho, color café. *Ecología:* terrícola.

Cladonia sp.3

Talo: Fruticuloso, talo primario escuamulas pequeñas (<1mm) de color verde. *Podocio:* cifoso de hasta 3 cm de largo y 0,5 mm de ancho, delgado, copas de 1 mm de diámetro. *Ecología:* Terrícola.

Cladonia talo café

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas sumamente pequeñas (<1mm) color café. *Podocio:* cilíndrico, color café y verde, 1 cm de largo y 4 mm de ancho. *Ecología:* Terrícola.

Cladonia talo verde

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas lobadas grandes de hasta 7 mm x 4 mm. *Podocio:* cilíndrico de color verde, 5 mm de largo y 0,5 mm de ancho. *Ecología:* Terrícola

Cladonia verde

Talo: fruticuloso, talo primario con escuamulas sumamente pequeñas de color verde. *Podocio:* cifoso de 8 mm de largo y 2 mm de ancho, copas de 0,2 mm de diámetro de color verde, con rosado hacia el ápice. *Ecología:* terrícola.

Cladonia verde país

Talo: Fruticuloso, talo primario con escuamulas de hasta 2 mm color verde cuando la muestra está fresca. *Podocios:* cilíndricos abundantes, color blanco, 1cm de largo y 2mm de ancho, corticados, con las escuamulas verdes presentes en la parte basal. *Ecología:* terrícola.

Cora sp.1

Talo: Folioso, sésil, con varias rosetas de hasta 2cm de diámetro, de varias tonalidades de gris, superficie sulcada; formada por semicírculos, reniformes, generalmente se unen lateralmente. *Ecología:* terrícola.

Cora sp.2

Talo: Folioso, sésil, con varias rosetas de hasta 2cm de diámetro, de varias tonalidades de verde, superficie sulcada; formada por semicírculos, reniformes, generalmente se unen lateralmente. *Ecología:* terrícola.

Dimelaena sp.1

Talo: Crustoso, talo color café claro, rimoso, 0,8 cm de diámetro. Prótalo color negro. *Apotecios:* Sin apotecios visibles. *Pruebas químicas:* Himenio I+ azul. *Ecología:* saxícola.

Diploschistes sp.1

Talo: Crustoso, talo rimoso a verrucoso, color blanco. *Apotecios:* urceolados, hasta 2 mm de diámetro, disco negro cóncavo. *Esporas:* ovoides a fusiformes, muriformes. *Pruebas químicas:* Himenio I-. *Ecología:* Terrícola.

Hypogymnia sp.1

Talo: Folioso, lado superior color café oscuro, arrugado, lado inferior liso, talo hueco con una cavidad entre la médula y el cortex inferior. *Pruebas químicas:* K- amarillo. *Ecología:* creciendo en materia orgánica/suelo.

Hypotrachyna blanca

Talo: Folioso, lóbulos lineares a elongados, ciliados, color blanco. Rizinas, presentes en el margen de los lóbulos, ramificadas dicotómicamente. *Pruebas químicas:* K+ amarillo. *Ecología:* saxícola.

Hypotrachyna café

Talo: Folioso, lóbulos lineares a elongados, ciliados, color café. Rizinas, presentes en el margen de los lóbulos, ramificadas dicotómicamente. *Pruebas químicas:* K+ amarillo. *Ecología:* creciendo en las ramas de *Chuquiraga jussieui*

Hypotrachyna chuquiragua

Talo: Folioso, lóbulos lineares a elongados, ciliados, color: celeste pálido. Rizinas, presentes en el margen de los lóbulos, ramificadas dicotómicamente. *Pruebas químicas:* K+ amarillo. *Ecología:* creciendo en las ramas de *Chuquiraga jussieui*.

Hypotrachyna sp.1

Talo: Folioso, lóbulos lineares a elongados, ciliados, color blanco grisáceo. Rizinas, presentes en el margen de los lóbulos, ramificadas dicotómicamente. *Pruebas químicas:* K+ amarillo. *Ecología:* saxícola.

Hypotrachyna sp.2

Talo: Folioso, lóbulos lineares a elongados, ciliados, color: café. Rizinas, presentes en el margen de los lóbulos, ramificadas dicotómicamente. *Pruebas químicas:* K+ amarillo. *Ecología:* saxícola.

Lecanora sp.1

Talo: Crustoso, talo color rosado, ampollado (bullado), hasta 7 cm de diámetro. *Apotecios:* lecanorino, frecuentes, discos color rosado, hasta 2 mm de diámetro, plano o convexo, brillosos, 8 esporas por asco. *Esporas:* simples, hialinas. *Pruebas químicas:* himenio I+ azul. *Ecología:* saxícola.

Megaspora verrucosa

Talo: Crustoso, talo color blanco a gris claro, areolado a verrucoso. *Apotecios:* lecanorino, inmersos en la areola, disco cóncavo, color negro, 4 esporas por asco. *Esporas:* simples, hialinas. *Pruebas químicas:* himenio I+ azul. *Ecología:* creciendo en materia orgánica (partes muertas de las almohadillas).

Mycoblastus sp.1

Talo: Crustoso, talo color blanco, rimoso, verrucoso. *Apotecios:* sésiles, discos color negro, planos o como areolas. *Esporas:* simples, elipsoidales, hialinas. *Pruebas químicas:* himenio I+ azul. *Ecología:* creciendo en materia orgánica (partes muertas de las almohadillas).

Oropogon sp.1

Talo: Fruticoso, talo color negro, centro del talo es hueco, ramificado anisotómicamente y dicotómicamente. *Ecología:* creciendo en roca o suelo.

Peltigera cf. andensis

Talo: Folioso, talo color café, irregularmente lobado, lóbulos hasta 1,5 cm de ancho y hasta 6 cm de largo, con bordes irregularmente flexosos. Superficie superior color café, superficie inferior tomentosa con bandas levantadas que parecen venas, con espacios blancos. Rizinas arregladas en filas, color negro. *Pruebas químicas:* K- amarillo. *Ecología:* terrícola.

Peltigera sp.2

Talo: Folioso, irregularmente lobado, lóbulos 4mm de ancho y hasta 3 cm de largo, superficie superior color café oscuro, superficie inferior tomentosa con bandas levantadas que parecen venas, con puntos más blancos. Rizinas negras. *Pruebas químicas:* K- amarillo. *Ecología:* terrícola.

Peltigera sp.3

Talo: Folioso, irregularmente lobada, lóbulos 1cm de ancho y hasta 2cm de largo. superficie superior color café con dobleces redondos, superficie inferior tomentosa, con

bandas levantadas que parecen venas con puntos más blancos. Rizinas negras. *Pruebas químicas*: K- amarillo. *Ecología*: creciendo en materia orgánica.

Placopsis sp.1

Talo: Crustoso, talo color rosado, areoleado, rimoso, con varios agujeros pequeños a lo largo del talo. *Apotecios*: lecanorino. *Esporas*: simples. *Cefalodios*: esparcidos, convexos o cóncavos, con bordes redondeados, color café oscuro. *Pruebas químicas*: I+ azul. *Ecología*: saxícola/terricola.

Psoroma sp.1

Talo: Escumuloso, escumulas pequeñas de hasta 0,5 mm, color negro a café claro. *Apotecios*: hasta 1 mm, cóncavo con un disco color café, con el margen talino levantado y persistente. *Ecología*: creciendo en materia orgánica (partes muertas de las almohadillas).

Punctelia sp.1

Talo: Folioso, color celestre claro, gris, lóbulos subirregulares, planos, 1 cm de ancho, a los bordes color café. *Pseudocifelas*: continuas en la superficie superior del talo, circulares. *Pruebas químicas*: K- amarillo. *Ecología*: saxícola

Rhizocarpon cf. geographicum

Talo: Crustoso, talo areoleado, color verde. *Apotecios*: redondos a angulares, color negro, planos. *Esporas*: oblongas, uniseptadas. *Pruebas químicas*: I+ azul. *Ecología*: saxícola.

Rhizocarpon blanco

Talo: Crustoso, color blanco, rimoso, 3cm de diámetro. *Apotecios*: redondos, color negro, planos a ligeramente convexos, *Esporas*: oblongas, uniseptadas. *Pruebas químicas*: I+ azul. *Ecología*: saxícola.

Leprocaulon cf. arbuscula

Talo: Fruticoso, color blanco a gris claro, con gránulos que se parecen a los filocladios de los *Stereocaulon*, pseudopotecio pequeño delgado con una coloración rosada pálida, erecto, con ramificaciones. *Ecología*: creciendo en musgo/tierra.

Stereocaulon cf. vesuvianum

Talo: Fruticoso, con abundantes pseudopotecios, delgados, ramificados hacia el ápice. *Filocladios*: peltados, pero se vuelven granulares hacia el ápice. *Ecología*: creciendo en musgo/tierra.

Stereocaulon sp.1

Talo: Fruticoso, con abundantes pseudopodocios, sin ramificaciones. *Filocladios:* verrugosos de color negro casi cubriendo completamente a los pseudopodocios. *Ecología:* creciendo en musgo/tierra.

Stereocaulon didymicum

Talo: Fruticuloso, pseudopodocios numerosos, erguidos, ramificados dicotómicamente hacia el ápice. *Filocladios:* cilíndricos, ramificados y numerosos. *Ecología:* creciendo en musgo/tierra.

Stereocaulon glareosum

Talo: Fruticuloso, pseudopodocios numerosos, cortos, erguidos, con ramificaciones hacia los ápices. *Filocladios:* cilíndricos, disminuyendo su tamaño mientras se acercan al ápice. Apotecios de tamaño grande, color café oscuro, planos. *Ecología:* terrícola.

Stereocaulon obesum

Talo: Fruticuloso, pseudopodocios cortos, formando tapete sobre el sustrato. *Filocladios:* verrugosos abundantes. *Ecología:* terrícola.

Sticta sp.1

Talo: Folioso, unido libremente al sustrato, toma una coloración café hacia el ápice y verde hacia la base. La superficie inferior es tomentosa. *Apotecios:* cóncavos. *Ecología:* creciendo en almohadillas.

Thamnotia vermicularis

Talo: Fruticuloso, talo erecto, cilíndrico, delgado, color blanco, varía mucho en tamaño, en la muestra hasta 8cm de largo. *Ecología:* Terrícola/saxícola.

Umbilicaria aprina

Talo: Folioso, unido al sustrato en un solo punto (umbo), talo monófilo color café, forma circular con los bordes un poco lobados, radiando alrededor del umbo. Superficie inferior negra. Riziniomorfos color negro de 1mm, cubriendo el anillo de los bordes. *Ecología:* saxícola.

Umbilicaria nylanderiana

Talo: Folioso, unido al sustrato en un solo punto (umbo), talo monófilo, forma circular alrededor de un umbo, color negro a café oscuro, márgenes lacerados, con arrugas, crestas a lo largo del talo. *Ecología:* saxícola.

Usnea sp.1

Talo: Fruticuloso, en forma de arbusto, color café y tomando un color verde hacia los ápices, ramificado anisotómicamente y dicotómicamente, las ramas más pequeñas tienen un color verde oscuro, las ramas con un cordón central, que se estira y se vuelve visible al fragmentar ligeramente la capa exterior cuando se jala suavemente. *Ecología*: saxícola/terricola.

***Verrucaria* sp.1**

Talo: Crustoso, talo color café oscuro, areoleado, ampollado. *Peritecios*: inmersos en unas pequeñas montañas que se forman en el talo, 8 esporas por asco. *Esporas*: simples. *Ecología*: saxícola.

***Xanthoparmelia* sp.1**

Talo: Folioso, color verde, unido fuertemente al sustrato. Lóbulos irregulares, arrugados, planos. Superficie inferior oscura. *Apotecios*: abundantes, disco color café canela con un borde color verde, hasta 5 mm de diámetro. *Ecología*: saxícola.

Coposo café oscuro

Talo: blanco disperso, con discos grandes color café (posiblemente apotecios) de hasta 9 mm de diámetro. *Ecología*: Terrícola.

Crustoso verrugas cafés

Talo: Crustoso, rimoso, color café. *Apotecios*: color negro, convexos. No se encontraron esporas. *Ecología*: saxícola.

Crustoso infla verde

Talo: crustoso, color verde claro, areolado, escuamulas. No se observaron apotecios. *Ecología*: terrícola.

Folioso naranja

Talo: Crustoso, color naranja, discos de color naranja, corimboso (arreglado en aglomerados). *Ecología*: saxícola.

Crustoso café ptos. negros

Talo: crustoso, color café, areoleado, bullado. *Apotecios*: color negro, convexos, arrugados. No se encontraron esporas en la muestra. *Ecología*: terrícola/muscícola.

Cladonia sin copas

Talo: Folioso/Fruticuloso, color blanco verdoso, lóbulos pequeños, parados. *Ecología*: terrícola.

Anexo 2. Glosario tomado de: Bungartz, Yáñez, Nugra y Ziemmeck (2013); Malcolm y Galloway (1997); Ryan, Bungartz, Hagedorn y Rambold (2005).

Anisotómico: Ramificado desigualmente, con las ramas laterales más pequeñas que el tallo principal.

Apotecio: Cuerpo fructífero de los ascomicetes tiene forma de platillo o de copa. El disco central fértil queda expuesto cuando las esporas están maduras y puede ser sésil o inmóvil.

Areolas: Una pequeña parte similar a una isla de un talo crustoso o de un talo folioso isidiado separado de otras areolas adyacentes por grietas abiertas, y de varias formas (por ejemplo, redondo, poligonal o angular).

Areolado: fuertemente dividido en areolas por grietas.

Asco: En los ascomicetes, una célula sexual en forma de saco que produce esporas.

Ascocarpo: Cuerpo fructífero donde se forman los ascos.

Bullado: Ampollado o arrugado.

Cefalodio: En líquenes con un alga verde como fotobionte, estructura localizada en o sobre el talo, caracterizada por presentar una cianobacteria.

Cifela: Un espacio en la corteza inferior de un talo del cual las hifas medulares no sobresalen. Puede tener varias formas, pero en sección se asemeja a una copa invertida forrada con hifas que son más densas que las de la médula.

Cifoso: Una estructura en forma de copa abierta, en *Cladonia*.

Corimboso: Arreglado en racimos.

Corticado: Con una corteza. Cubierto por una superficie lisa de hifas aglutinadas.

Crustoso: una fina costra creciendo en o en el sustrato y que no puede ser separado de este.

Dicotómico: Que se ramifica en dos ramas iguales.

Epruinoso: Que carece de pruina.

Escumulas: Una pequeña escama con al menos una corteza superior.

Escumuloso: Con pequeñas escamas o escumulas, generalmente superpuestas, unidas en un borde.

Excípulo: Un término anatómico generalmente se refiere a cualquier capa lateral que rodea, abraza o envuelve un ascocarpo o conidioma, ya sea que se deriva desde el ascocarpo mismo o del talo circundante.

Filocladios: Expansiones del talo en el pseudopodecio de *Stereocaulon* y *Argopsis*, que contiene al fotobionte.

Flexoso: ondulado o en zig-zag.

Folioso: Aplanado, similar a una hoja, con una superficie superior diferente a la inferior. La superficie contiene la capa fotosintética y, generalmente, las estructuras reproductivas. La superficie inferior puede tener ricinas u otras estructuras para adherirse al sustrato.

Fusiforme: Con forma de huso de arena, ancho en el medio y estrecho en ambos extremos.

Fruticulososo: Con forma de arbusto y adherido al sustrato en un solo punto. Las ramas pueden ser redondas o aplanadas.

Hialino: Sin color, transparente.

Himeno: La capa del cuerpo fructífero fúngico que produce esporas, consiste en ascos o basidios y sus esporas, además de parafises u otras estructuras estériles.

Istmo: La conexión delgada entre dos o varios lóculos de una célula en una espora polarilocular, formada por hinchazones de la endospora que constriñen el lumen celular de una espora en dos o varios lóculos.

Lecanorino: Dícese de un apotecio con un margen talino (excípulo) que contiene células del fotobionte.

Lecideino: Dícese de un apotecio con un margen propio (excípulo) que carece de células del fotobionte.

Leproso: Una masa difusa polvorienta de hifas fúngicas y células del fotobionte, con poco o nada de estructura.

Muriforme: Que tiene septos transversales y longitudinales u oblicuos.

Oblongo: Con lados paralelos, pero con extremos redondos o truncados.

Parafises: Hifas fúngicas estériles que crecen entre los ascos en el himenio de un ascomicete. Las parafises crecen hacia arriba desde la base del himenio, pero pueden ser ramificadas o no, libres o embebidas en un gel, o fusionado en sus puntas o a lo largo de sus longitudes en una red floja o densa.

Peltado: Con forma de plato o escudo unido en la superficie inferior por un solo punto central.

Peritecio: Un cuerpo fructífero de Ascomycota con forma de matraz. El himenio nunca está expuesto y al madurar las esporas generalmente son liberadas a través de un poro en la parte superior.

Picnidio: Una estructura que produce conidios, usualmente con forma de matraz.

Placoideo: Crustoso en el centro, pero folioso en los márgenes, generalmente con lóbulos superpuestos y pliegues.

Podecio: Una estructura similar a un tallo, con células del fotobionte, base de un apotecio.

Protalo: Hifas fúngicas en el margen del talo, de variada coloración y texturas, pero nunca contiene las células del fotobionte.

Pruina: Recubrimiento de superficie similar a la escarcha, que a menudo consiste en cristales de oxalato de calcio.

Pseudocifelas: Una pequeña abertura en la corteza superior e inferior de un talo, exponiendo las hifas de la médula. Puede tener varias formas, pero a diferencia de las cifelas no están forradas con hifas densas.

Pseudopodecios: Una parte similar a un tallo o un arbusto del talo de *Stereocaulon* y *Pilophorus* que contiene a los apotecios. Se desarrolla de tejido vegetativo del talo, mientras que el apotecio se desarrolla del llamado tejido generativo que rodea a los hongos sexuales del hongo y da origen al cuerpo fructífero. En contraste, tanto el tallo como el apotecio de un podecio verdades (por ejemplo, de *Cladonia*) se desarrolla desde el tejido generativo.

Rimoso: Irregularmente agrietado.

Rizinas: Un grupo de hifas similares a raíces adaptadas para adherir el talo al sustrato.

Sulcada: Acanalado o estriado.

Tomentoso: Cubierto por una mata de hifas que se asemejan a los pelos.

Umbo: Una depresión central en el lado superior de un talo umbilicado que corresponde al ombligo en el lado inferior.

Urceolados: Con forma de copa o urna, profundamente cóncavo o hueco.