



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza  
Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

---

CARACTERIZACIÓN DE FLORA NO VASCULAR EN DOS ÁREAS  
PROGLACIARES DEL TERCIO NORTE DE CAMPO DE HIELO SUR:  
CONSIDERACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL DESARROLLO DEL  
TURISMO DE INTERÉS ESPECIAL EN EL PARQUE NACIONAL BERNARDO  
O'HIGGINS, CHILE

Actividad Formativa Equivalente a Tesis (AFE)  
para optar al grado de Magister en Áreas Silvestres y  
Conservación de la Naturaleza.

Victor Ardiles Huerta  
Biólogo

Santiago de Chile  
2020

## HOJA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

Profesor Guía

Nombre: Alvaro Promis B.

Nota: 6.5

Firma:

Profesor Consejero

Nombre: Jaime Hernández P.

Nota: 7.0

Firma:

Profesor Consejero

Nombre: Nicolás García

Nota: 6.4

Firma:

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) y al Instituto Chileno de Campos de Hielo (ICCH) por apoyar desde sus inicios esta colaboración interinstitucional con el objetivo de “conocer para conservar la flora no vascular de áreas proglaciares del tercio norte del Campo de Hielo Sur (CHS)”, la tercera masa de hielo continental más grande del mundo. También a diversas instituciones público/privadas, como también personas naturales de las regiones de Aysén y Magallanes que han participado directa o indirectamente en el desarrollo de las expediciones que nos permitieron acceder a las áreas de estudio. En especial agradezco a la Compañía Andina Divisionaria N°20 del Ejército de Chile, Aysén-Cochrane, por brindar apoyo terrestre para las expediciones Jorge Montt y Pio XI. Especial mención quiero dar a Martín Correa Fernández (ICCH, Escalador/Guía QEPD) y a Don Horacio Toro Iturra (Fundador ICCH, QEPD), quien, en el primer caso, fue compañero de expedición, de cordada y apoyo en la instalación de las parcelas de muestreo de flora en el área proglaciar Jorge Montt, y en el segundo caso, Don Horacio, quien apoyó desde sus inicios los estudios de flora y vegetación como contribución al conocimiento del área de los Campos de Hielo. También agradecer a Gloria Rojas V., Jimena Arriagada T. y a todas/os las/los voluntarias/os del Área Botánica del MNHN que alguna vez revisaron material de estas áreas, tanto de plantas, hongos y líquenes, y que compartieron opiniones y alcances respecto a la flora, como también a quienes colaboraron con su conocimiento para la determinación de algunos ejemplares. Agradezco también de manera especial a la familia Ardiles Huerta y a Dayana Vásquez por su constante apoyo para dar fin al presente manuscrito. Finalmente, agradecer al Dr. Álvaro Promis por su constante y positivo apoyo para dar término a este estudio y esta etapa, y que en conjunto logramos dar mejor forma y alcances a los datos florísticos y de vegetación incluidos en el.

## RESUMEN

El Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO), el más extenso del país y una de las áreas más prístinas a nivel global, contiene gran parte del Campo de Hielo Sur (CHS), área que en su sección norte ha presentado un aumento del turismo de interés especial. El presente estudio caracteriza la flora no vascular (briófitas), en dos áreas cercanas a los glaciares Jorge Montt (JM) y Pío XI (PXI), en el tercio norte del CHS. Además, y en el contexto del desarrollo de rutas turísticas en estas áreas, se determinaron las amenazas y se proponen medidas de conservación para este grupo de plantas. Se realizaron muestreos florísticos en gradientes de altitud desde los 200 a los 1000 msnm, determinando la morfología del gametofito, forma de vida, sustratos y patrones de distribución geográfica global y en Chile para cada una de las especies. Se realizaron análisis estadísticos (conglomerado, ordenación y especies indicadoras) para determinar la existencia de grupos o asociaciones de especies considerando la influencia de tres variables ambientales. Se registraron un total de 76 especies, 43 de estas presentes en el área JM y 51 en el área PXI, siendo principalmente musgos acrocarpos y hepáticas foliosas, nativas y endémicas de áreas subantárticas. Se identificaron tres especies indicadoras para el área JM y nueve para el área PXI. A partir de estos resultados se desarrollaron cuatro medidas principales de conservación, incluyendo una propuesta de indicadores de sustentabilidad como instrumento de monitoreo para su aplicación en potenciales rutas turísticas que ingresen al *plateau* del CHS. La implementación de estas medidas incorpora a musgos y hepáticas como bioindicadores, contribuyendo a la conservación de la flora nativa y el desarrollo de un turismo de interés al interior del área andina del PNBO.

Palabras clave: flora no vascular (briófitas), Campo de Hielo Sur (CHS), turismo de interés especial, turismo con lupa, conservación flora subantártica.

## ABSTRACT

The Bernardo O'Higgins National Park (BONP), the biggest in the country and one of the most pristine areas globally, contains a vast section of the Southern Patagonia Ice Field (SPI), an area that in its northern part has shown an increase in tourism of special interest. The present study characterizes the non-vascular flora (Bryophytes), in two areas near to Jorge Montt (JM) and Pío XI (PXI) glaciers, in the northern third of the SPI. Furthermore, in the context of the development of tourist routes in these areas, the threats were determined and conservation measures are proposed for this group of plants. Floristic samplings in altitude gradients from 200 to 1000 meters above sea level were analyzed, determining the morphology of the gametophyte, life form, substrates and patterns of global geographic distribution and in Chile for each of the species. Multivariate analyses were carried out (cluster, management and indicator species) to determine the existence of groups or associations of species that determine the influence of tree environmental variables. A total of 76 species were recorded, 43 present at JM area and 51 in PXI área, mainly acrocarpous mosses and foliose liverworts, native and endemic of subantarctic areas. Three indicator species were identified for the JM area and nine for the PXI area. Based on these results, four main conservation measures are developed, including a proposal for sustainability indicators as a monitoring instrument for their application in the tourist routes that go into the SPI *plateau*. The implementation of these measures incorporates mosses and liverworts as bioindicators, contributing to the conservation of native flora and the development of tourism of interest within the Andean area of PNBO.

Key words: non-vascular flora, Southern Ice Field (CHS), tourism of special interest, tourism with magnifying glass, conservation of subantarctic flora.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b>	<b>5</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
3.1 ÁREAS DE ESTUDIO	6
3.2 MUESTREO FLORÍSTICO	10
3.3 DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES	12
3.4 PATRONES DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA GLOBALES Y EN CHILE	14
3.5 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL	16
3.6 ANÁLISIS DE DATOS SOBRE COMPOSICIÓN DE FLORA NO VASCULAR	16
3.7 PROPUESTA DE MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE FLORA NO VASCULAR	18
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>19</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FLORA NO VASCULAR	19
4.2 PATRONES DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA: GLOBALES Y EN CHILE	25
4.3 ANÁLISIS DE DATOS SOBRE COMPOSICIÓN DE FLORA NO VASCULAR	31
4.4 PROPUESTA DE MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE FLORA NO VASCULAR	39
4.4.1 AMENAZAS DIRECTAS	39
4.4.2 MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE FLORA NO VASCULAR	42
<b>5. DISCUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>69</b>
ANEXO 1. LISTADO FLORÍSTICO DE LAS ESPECIES DE MUSGOS Y HEPÁTICAS REGISTRADAS EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO JORGE MONTT Y PÍO XI. ADEMÁS, PARA CADA ESPECIE SE INDICAN LA MORFOLOGÍA DEL GAMETOFITO (M), FORMA DE VIDA (FV), SUSTRATO (S) Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA GLOBAL (PDG) Y EN CHILE (PDCh).	69
ANEXO 2. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DE FLORA NO VASCULAR	73
FIGURA ANEXO 2.1. REPRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MUESTREO PARA EL MONITOREO DE FLORA NO VASCULAR Y LA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD, MODIFICADO A PARTIR DE DE LA MAZA <i>ET AL.</i> (2014). A) REPRESENTACIÓN DEL SENDERO TURÍSTICO, INDICANDO LOS TRAMOS DE 50 M DE LONGITUD Y 10 M DE ANCHO DONDE SE REALIZARÁ EL MONITOREO, B) ESQUEMA AMPLIADO DEL TRAMO DE 50 M, INDICANDO LAS TRES ÁREAS A MONITOREAR, C) ESQUEMA AMPLIADO	

DE UN ÁREA A MONITOREAR, DONDE SE INDICA LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PARCELAS DE 1M<sup>2</sup>. 75

TABLA ANEXO 2.1. MODELO DE PLANILLA DE DATOS PARA LA PROPUESTA DE MONITOREO DE FLORA NO VASCULAR Y LA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD, MODIFICADO A PARTIR DE DE LA MAZA *ET AL.* (2014). A) DATOS GENERALES, B) DATOS DEL LISTADO FLORÍSTICO, C) INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD. PARA MÁS DETALLES VER FIGURA ANEXO 2.1. \* CÓDIGO FINAL DE FOTOGRAFÍA PARCELA, \*\* CÓDIGO FINAL DE FOTOGRAFÍA COLONIAS DE ESPECIES INDICADORAS. EN ROJO SE SEÑALAN LAS ESPECIES INDICADORAS. 76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del tercio norte del Campo de Hielo Sur. Los rectángulos señalan las dos áreas de estudio asociados a los frentes del glaciar Jorge Montt (JM) (verde) y Pío XI (PXI) (azul). Además, se indican las localidades cercanas a ambas áreas, Caleta Tortel (JM) y Puerto Edén (PXI). La línea roja indica el límite del Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO). \_\_\_\_\_ 7

Figura 2. Imagen referencial del área de estudio en el fiordo Jorge Montt (JM). Los puntos de muestreo se representan en círculos rojos en el gradiente altitudinal. \_ 8

Figura 3. Imagen referencial del área de estudio Pío XI (PXI) en el fiordo Exmouth. Los puntos de muestreo se representan en círculos rojos en el gradiente altitudinal. \_\_\_\_\_ 8

Figura 4. Representación esquemática de la distribución de las parcelas de muestreo de flora no vascular en el gradiente de altitud. Cuatro parcelas de 1 m<sup>2</sup> por cada nivel de altitud, separadas cada 50 metros de distancia lineal entre ellas. En verde se representan las parcelas muestreadas en JM y en azul en PXI. \_\_\_\_ 11

Figura 5. Parcelas de muestreo de 1 m<sup>2</sup> propuestas para el análisis de presencia de especies de flora no vascular en las áreas JM (A, B, C, D, E) y PXI (F). \_\_\_\_ 11

Figura 6. Porcentaje de las diferentes morfologías del gametofito en las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI). A (acrocarpo), Den (dendroide), PI (pleurocarpo), F (foliosa) y TS (talosa simple). \_\_\_\_\_ 21

Figura 7. Porcentajes de las categorías de FV de musgos registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI), c) las dos categorías

más representadas bajo lupa estereoscópica. Cc (césped corto), Cl (césped largo), TI (tapiz liso), Cp (cojín pequeño) y Den (dendroide). \_\_\_\_\_ 22

Figura 8. Porcentajes de las categorías de FV de hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI), c) las dos categorías más representadas bajo lupa estereoscópica. Cc (césped corto), Cl (césped largo), TI (tapiz liso), Den (dendroide), Hr (hebra) y Tr (trama). \_\_\_\_\_ 23

Figura 9. Porcentajes de los sustratos que colonizan las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI). R (roca), S (suelo orgánico o mineral), PV (plantas vasculares), R-PV (roca-planta vascular), S-PV (suelo-planta vascular) y S-R (suelo-roca). \_\_\_\_\_ 24

Figura 10. Patrones de distribución geográfica global (PDG) para el total de especies de musgos y hepáticas registradas en ambas áreas de estudio. a) total de especies (n=43) en el área JM, b) total de especies (n=51) en el área PXI. Cos (distribución amplia), Bp (bipolar), As (austral), An (andino), En (endémica), Pn (pantropical) e Ind (indeterminada). \_\_\_\_\_ 26

Figura 11. Patrones de distribución geográfica global (PDG) para especies de musgos y hepáticas mostrados de forma independiente en ambas áreas de estudio. a) PDG de musgos y hepáticas en el área JM, b) PDG de musgos y hepáticas en el área PXI. Cos (distribución amplia), Bp (bipolar), As (austral), An (andino), En (endémica), Pn (pantropical) e Ind (indeterminada). \_\_\_\_\_ 27

Figura 12. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para el total de especies de musgos y hepáticas registradas en ambas áreas de estudio. a) total de especies (n=43) en el área JM, b) total de especies (n=51) en el área PXI. M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), TF (Tierra \_\_\_\_\_ 28

Figura 13. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para especies de musgos y hepáticas registradas en el área de estudio JM (n=43). M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), S



(subantártico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).	29
Figura 14. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para especies de musgos y hepáticas registradas en el área de estudio PXI (n=51). M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).	30
Figura 15. Dendrograma de agrupamiento para el área JM donde se muestran los dos grupos de parcelas obtenidos. Grupo 1 (rojo) y 2 (verde).	33
Figura 16. Dendrograma de agrupamiento para el área PXI donde se muestran los cinco grupos de parcelas obtenidos.	34
Figura 17. Representación del análisis de correspondencia (DCA) para el área JM. Se observan los dos grupos de parcelas obtenidos del análisis de conglomerado (grupo 1 en rojo y 2 en verde). En este caso, la variable altitud es la que mejor explica la distribución en estos grupos.	35
Figura 18. Representación del análisis de correspondencia (DCA) para el área PXI. Se indica el número de cada grupo de parcelas obtenidos del análisis de conglomerado. En este caso, las variables altitud y % de cobertura de piedras y rocas explican el agrupamiento de las parcelas del grupo 1. Por otra parte, el % de vegetación vascular explica el agrupamiento de las parcelas de los grupos 4 y 5. Ninguna de estas variables pudo explicar los grupos 2 y 3.	36
Figura 19. Representación de la propuesta de muestreo para el monitoreo de flora no vascular y la aplicación de los indicadores de sustentabilidad, modificado a partir de De la Maza et al. (2014). a) representación del sendero turístico, indicando los tramos de 50 m de longitud y 10 m de ancho donde se realizará el monitoreo, b) esquema ampliado del tramo de 50 m, indicando las tres áreas a monitorear, c) esquema ampliado de un área a monitorear, donde se indica la distribución espacial de las parcelas de 1m <sup>2</sup> .	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correlación de Pearson y Kendall de variables ambientales respecto a los ejes de ordenación de parcelas con presencia de especies de musgos y hepáticas en el área JM.	35
Tabla 2. Correlación de Pearson y Kendall de variables ambientales respecto a los ejes de ordenación de parcelas con presencia de especies de musgos y hepáticas en el área PXI.	36
Tabla 3. Especies indicadoras (ISA) para los grupos de parcelas en el área JM. Se indican los grupos del análisis de conglomerado, el valor de indicador (0-100) y el valor de p.	37
Tabla 4. Especies indicadoras (ISA) para los grupos de parcelas en el área PXI. Se indican los grupos del análisis de conglomerado, el valor de indicador (0-100) y el valor de p.	38
Tabla 5. Amenazas para las comunidades de flora no vascular determinadas en las áreas de estudio JM y PXI.	39
Tabla 6. Listado florístico de las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio Jorge Montt y Pío XI. Además, para cada especie se indican la morfología del gametofito (M), forma de vida (FV), sustrato (S) y patrones de distribución geográfica global (PDG) y en Chile (PDCh).	69
Tabla 7. Modelo de planilla de datos para la propuesta de monitoreo de flora no vascular y la aplicación de los indicadores de sustentabilidad, modificado a partir de De la Maza et al. (2014). a) datos generales, b) datos del listado florístico, c) indicadores de sustentabilidad. Para más detalles ver Figura 19. * código final de fotografía parcela, ** código final de fotografía colonias de especies indicadoras. En rojo se señalan las especies indicadoras.	76

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década, el potencial turístico del sector norte del Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO) y áreas adyacentes público-privadas, ha aumentado considerablemente debido a la disponibilidad de rutas de acceso abiertas a la visita de diversos glaciares del tercio norte del Campo de Hielo Sur (CHS, Región de Aysén y Magallanes). Esta situación geográfica ha posicionado particularmente a la Provincia de Capitán Prat como la "Provincia de los Glaciares", tanto a nivel nacional como en el extranjero. Con dicho posicionamiento ha habido un aumento significativo en el número de visitantes que transitan por áreas cercanas a los glaciares del CHS, ya sea con fines recreativos, deportivos o de investigación científica, existiendo un potencial impacto antrópico sobre la flora vascular y no vascular (briófitas) en dichas áreas cercanas a los glaciares, tanto en áreas proglaciares (zona alrededor del borde de las capas de hielo o áreas inmediatamente en frente de glaciares o capas de hielo), como periglaciares (zona alrededor del borde de las capas de hielo con intensa actividad de congelación-descongelación asociada al permafrost) (ICCH 2016; CONAF 2018; Vela-Ruiz et al. 2011; Slaymaker 2011). En este sentido, los impactos de las actividades humanas sobre la flora y vegetación comprometen la integridad de los ecosistemas, al producir cambios en la diversidad de especies, pérdida de la cobertura vegetal y alteración de otros componentes como el agua y el suelo (De La Maza et al. 2014). Dichos cambios, junto a las recientes variaciones en los patrones de precipitación y mayores temperaturas previstas para la región de Aysén y Magallanes debido al cambio climático (Olivares-Contreras et al. 2019), pueden modificar las condiciones micro ambientales, como son la temperatura y humedad a nivel de suelo, cambios que pueden afectar las formas de vida (FV) de musgos, hepáticas y antocerotes (flora no vascular), atributo estructural de importancia en su relación con el medio ambiente, específicamente en la capacidad de almacenaje de agua, nutrientes y de proveer hábitat a invertebrados de suelo (Proctor 2008; Oishi 2018). Consecuentemente, proponer medidas de manejo para la conservación de la flora no vascular (musgos, hepáticas y

antocerotes) en dichos ambientes proglaciares del CHS deben considerar la dinámica o sucesión natural de estos ecosistemas ante los eventuales cambios generados por el tránsito de personas.

Respecto a los ambientes proglaciares podemos señalar que estas áreas se encuentran desglaciadas, pero cerca del frente de hielo de un glaciar, de un casquete de hielo o una capa de hielo (Rivera *et al.* 1997; Slaymaker 2011; Rivera *et al.* 2012b; White y Copland 2013). A nivel global, estos ambientes han sido foco de diversos estudios sobre la flora y vegetación, dando respuesta, en parte, a la presencia y distribución de las poblaciones y comunidades de plantas, y como éstas se vinculan temporalmente a los procesos de desglaciación, colonización y sucesión (Walker y Del Moral 2003; Hodkinson *et al.* 2003; D'Amico *et al.* 2014). En Chile, los estudios de flora y vegetación en áreas proglaciares se han llevado a cabo en su mayor parte en la región de Magallanes, entre los 51 y 54° LS, donde el foco de estudio ha sido la dinámica de la sucesión vegetal en sistemas morrénicos, la estimación de la tasa de fijación de nitrógeno en cronosecuencias primarias de sucesión, la elaboración de catálogos florísticos y reportes botánicos de campo vinculados a exploraciones científicas, donde la flora no vascular es considerada solo en algunos casos (Pisano 1978; Dollenz 1991; Arroyo *et al.* 1992; Pisano 1997; Domínguez *et al.* 1999; Iturraspe y Strelin 2002; Teillier y Marticorena 2002; Rodríguez *et al.* 2008; Dollenz *et al.* 2012; Troncoso *et al.* 2013; Arróniz-Crespo *et al.* 2014; Pérez *et al.* 2014). También, en estas áreas se han estudiado los gradientes altitudinales y latitudinales de riqueza y composición de plantas vasculares principalmente, incluyendo en dichos estudios la variabilidad climática reciente y el incremento del tránsito de personas como medios facilitadores en las invasiones biológicas a áreas remotas (Pauchard *et al.* 2016). Desde el punto de vista de la biodiversidad y conservación de la flora subantártica, musgos (Bryophyta), hepáticas (Marchantiophyta) y antocerotes (Anthocerotophyta), corresponden a tres linajes de plantas no vasculares (poiquilo-hídricas, sin tejido conductor), que en Chile y particularmente en el área andino patagónica, poseen una alta riqueza de especies, en la que se ha documentado un total de 260 musgos, 110 hepáticas y 3 antocerotes para la

Provincia de Capitán Prat (Hässel de Menéndez y Rubies 2009; Larraín 2016). A su vez, gran parte de esta riqueza es endémica, estimándose en un 40% para las especies de musgos y 60% para las hepáticas (Hallingbäck y Hodgetts 2000; Larraín 2016). Dichos endemismos involucran bosques del sur de Sudamérica, incluida Tierra del Fuego, Islas Malvinas, Islas Georgia del Sur y la península Antártica. Dicha riqueza y endemismo, se explican, en parte, por el pasado geológico del sur de Sudamérica, el consecuente aislamiento geográfico del territorio por el levantamiento gradual de la Cordillera Andina Patagónica, la predominancia del clima lluvioso templado-frío, la heterogeneidad de la estructura de la vegetación y del relieve (Seki 1974; Villagrán *et al.* 2003; Rozzi *et al.* 2008; Crandall-Stotler *et al.* 2009; Hässel de Menéndez y Rubies 2009; Cuvertino *et al.* 2012; León *et al.* 2014; Larraín 2016). En estos ambientes fríos, las comunidades de musgos, hepáticas y antocerotes participan activamente en el proceso de estabilización y fertilización del suelo, evitando su erosión, siendo además indispensables en los ciclos biogeoquímicos y en la sucesión de las comunidades de plantas, sobre todo en la etapa de sucesión primaria, donde contribuyen significativamente a la fijación de nitrógeno atmosférico (Walker y Del Moral 2003; Troncoso *et al.* 2013). Además, existe amplia evidencia que las comunidades de musgos y hepáticas ayudan a mantener una significativa carga de humedad en los bosques, evitando así el estrés hídrico del sistema, siendo también hábitat y alimento para innumerables invertebrados y vertebrados (Pócs 1980; Grandstein *et al.* 2001; Goffinet *et al.* 2008; Osorio *et al.* 2018; Glime 2013). Entendiendo lo anterior y vinculado además el interés mundial por los campos de hielo de Sudamérica en el contexto del cambio climático y el retroceso de los glaciares, el tercio norte del CHS presenta dos áreas de interés para estudiar la flora y vegetación en su conjunto, como son el glaciar Jorge Montt (JM, 48° 22' S, 73° 30' O) y el glaciar Pío XI (PXI, 49° 12' S, 74° 00'O). Al respecto, el glaciar Jorge Montt ha presentado el mayor retroceso en los últimos 50 años en el Campo de Hielo Sur (Rivera *et al.* 2012a) y el glaciar Pío XI, es el más grande de Sudamérica y uno de los dos glaciares en Chile, que presenta avance de su frente de hielo. Si bien ambos glaciares son disímiles en su dinámica o sucesión natural, poseen

parte de su masa de hielo en áreas proglaciares (Aniya *et al.* 1997; Rivera *et al.* 1997; Slaymaker 2011). Desde el punto de vista de las áreas silvestres protegidas, este territorio forma parte del Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO y áreas próximas), creado hace 50 años (1969), siendo el más extenso de Chile con una superficie estimada de 3.525.901,20 ha. De dicha superficie, aproximadamente un 20,6% pertenece a la región de Aysén y un 79,4% a la región de Magallanes (CONAF 2018). Al respecto, los parques nacionales son áreas extensas, con ambientes únicos o representativos de la biodiversidad del país, sin alteración humana significativa, capaces de auto perpetuarse y con especies autóctonas o formaciones geológicas de interés científico, educativo o recreativo. Su objetivo es la preservación natural y la realización de actividades de educación, investigación y recreación, compatibles con los objetivos de preservación (CONAF 2001; 2013). Sin embargo, estudios recientes proponen que el calentamiento global, el cambio de uso de suelo, el aumento del turismo, extracción de recursos, y la mayor conectividad podrían incrementar la susceptibilidad a nuevas invasiones biológicas, especialmente en dichos ambientes fríos (Sanderson *et al.* 2002; Pauchard *et al.* 2009; Convey 2011; Alsos *et al.* 2015; Zefferman *et al.* 2015). Ante este nuevo escenario de cambio de los ambientes desglaciados, musgos, hepáticas y antocerotes tienen propiedades biológicas que los hacen más vulnerables que las plantas vasculares, como son la dependencia de un microclima con alta humedad, una baja habilidad competitiva intrínseca y un proceso reproductivo y de establecimiento poblacional altamente dependiente de la combinación de condiciones de humedad y temperaturas frías (Rydin 2009; Hallingbäck y Tan 2010). Por lo tanto, es necesario realizar estudios florísticos de base que contribuyan a proponer medidas de manejo para la conservación de la flora nativa no vascular o briófitas, considerando la sucesión ecológica natural de estos ecosistemas proglaciares. Además, requiere de un enfoque conceptual proactivo, el cual considera la vulnerabilidad a las amenazas y/o la capacidad de reemplazo del o de los objetos de conservación (Margules y Pressey 2000; Brooks *et al.* 2006). De esta forma, se podrán complementar las actuales y futuras

estrategias de manejo para la conservación de la flora nativa presente en áreas andinas del Parque Nacional Bernardo O'Higgins.

## 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### 2.1 Objetivo General

Analizar la riqueza y composición de la flora no vascular (musgos, hepáticas y antocerotes) en dos áreas proglaciares asociadas a potenciales rutas de acceso al tercio norte del Campo de Hielo Sur (CHS), para el planteamiento de medidas de conservación específicas para este grupo de plantas al interior del Parque Nacional Bernardo O'Higgins.

### 2.2 Objetivos específicos

1. Determinar la riqueza y la composición florística de plantas no vasculares o briófitas en dos gradientes altitudinales asociados a las potenciales rutas de ascenso a los glaciares Jorge Montt y Pío XI en el tercio norte del CHS.
2. Proponer medidas específicas de conservación para la flora no vascular o briófitas a partir de los resultados de riqueza y composición florística en el gradiente altitudinal (rutas turísticas potenciales), para su uso como estrategia de manejo al interior del Parque Nacional Bernardo O'Higgins.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Áreas de estudio

Los sitios de estudio corresponden a las áreas proglaciares de los glaciares Jorge Montt (JM, 48°20'S / 73°29'O) y Pío XI (PXI, 49°13'S 74°O) (Figuras 1, 2 y 3). Ambas áreas de estudio forman parte del PNBO y están vinculadas a senderos interpretativos en el tercio norte del CHS, permitiendo la incorporación de ambas áreas a las actividades de turismo de interés especial (Vela-Ruiz *et al.* 2011). La elección de estas áreas consideró criterios como la accesibilidad desde las localidades aledañas, la representatividad de cada ecosistema que identifica al CHS (48° 20' S – 51° 30' S), y las facilidades de acceso para la realización de trekking, identificándose los sectores menos riesgosos y en especial los más próximos al *plateau* de hielo (ICCH 2016). Administrativamente, el glaciar Jorge Montt se ubica en el extremo sur de la región de Aysén, en la provincia de Capitán Prat, siendo Caleta Tortel la localidad poblada más cercana. Por su parte, el glaciar Pío XI se ubica en el extremo norte de la región de Magallanes y de la Antártica Chilena, siendo Puerto Edén la localidad poblada más cercana, situada en la Isla Wellington, en el canal Messier. El sitio proglaciar Jorge Montt (JM) corresponde a un área progresivamente desglaciada durante los últimos 40 años y al presente su masa de hielo sigue en retroceso hacia el *plateau* del CHS (Figura 2). El área proglaciar Pío XI (PXI), por su parte, corresponde a una zona bajo influencia glaciar permanente y que se ubica tangencialmente a la masa glaciar, que a diferencia del glaciar JM, avanza hacia el fiordo Eyre en la Península Lientur (Rivera *et al.* 1997) (Figura 3).



Cartografía General Área de Estudio

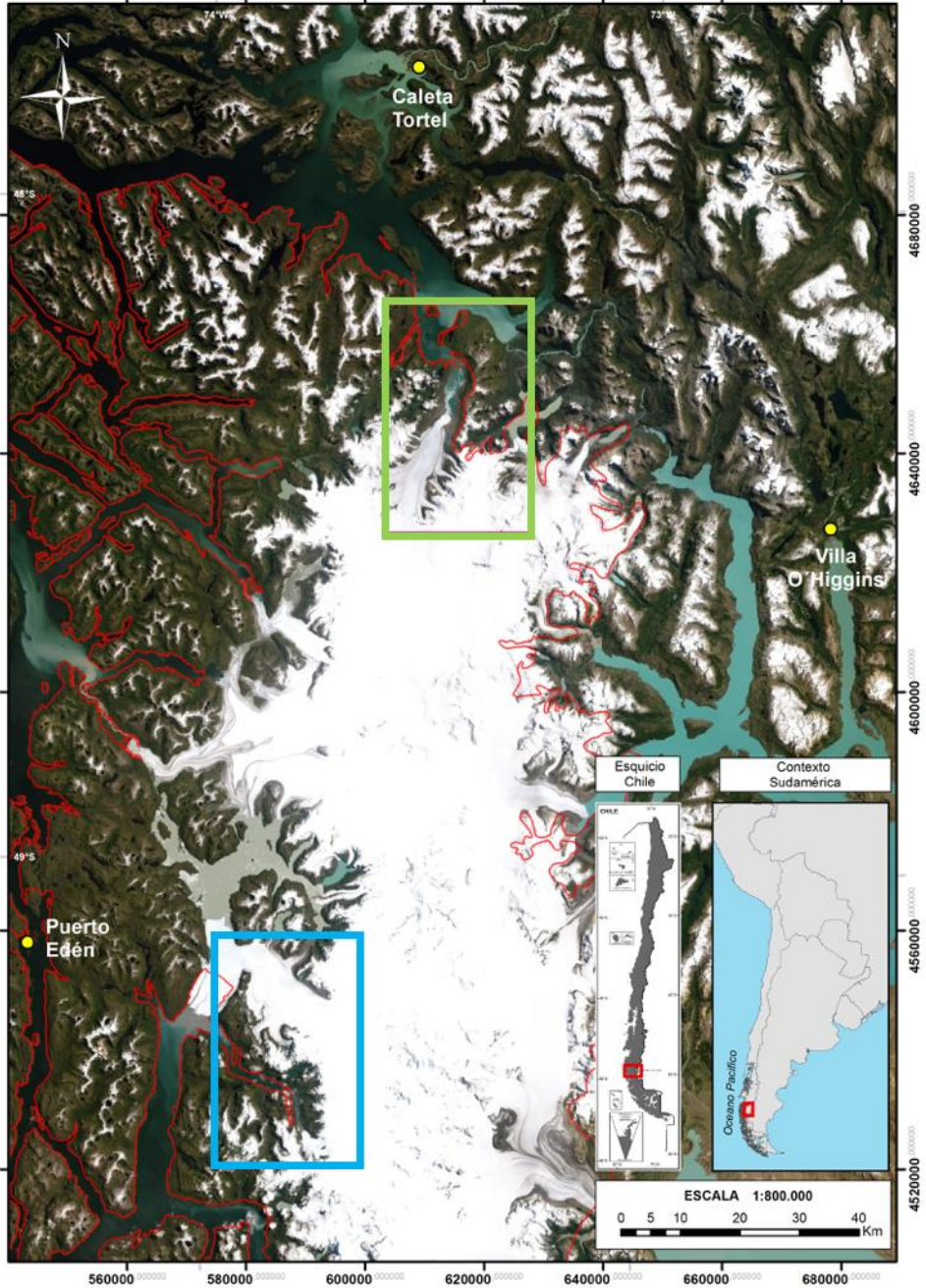


Figura 1. Mapa del tercio norte del Campo de Hielo Sur. Los rectángulos señalan las dos áreas de estudio asociadas a los frentes del glaciar Jorge Montt (JM) (verde) y Pío XI (PXI) (azul). Además, se indican las localidades cercanas a ambas áreas, Caleta Tortel (JM) y Puerto Edén (PXI). La línea roja indica el límite del Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO). (El área de estudio JM está en el límite con el PNBO).

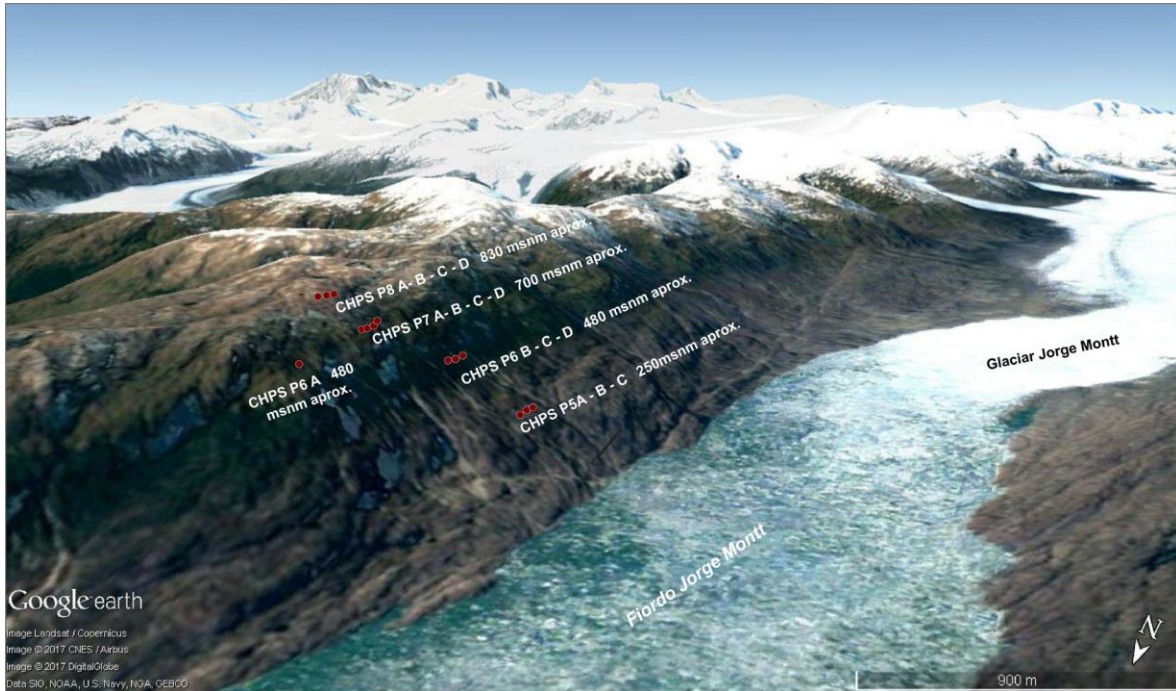


Figura 2. Imagen referencial del área de estudio en el fiordo Jorge Montt (JM). Los puntos de muestreo se representan en círculos rojos en el gradiente altitudinal.

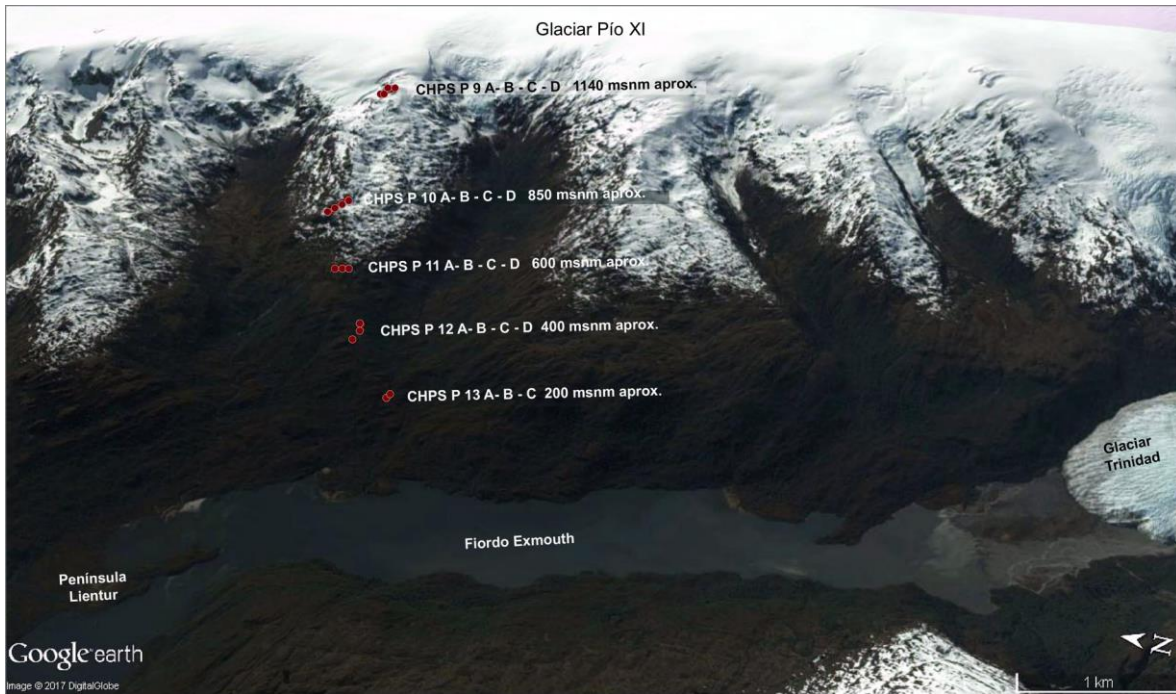


Figura 3. Imagen referencial del área de estudio Pío XI (PXI) en el fiordo Exmouth. Los puntos de muestreo se representan en círculos rojos en el gradiente altitudinal.

Desde el punto de vista geológico, el tercio norte del Campo de Hielo Sur se ubica en el Complejo Metamórfico Andino Oriental. Las rocas predominantes en esta área son metamórficas del Paleozoico, plutónicas del batolito patagónico y en menor cantidad corresponden a volcánicas asignadas al Jurásico Superior-Cretácico Inferior (De la Cruz *et al.* 2004). En toda la región hay depósitos dispersos relacionados a la última glaciación que, además, dejó su marca en el actual modelado del relieve. El área específica de estudio corresponde a una zona de desglaciación del periodo holoceno (De la Cruz *et al.* 2004). En relación con el clima, las áreas de estudio corresponden a un macrobioclima Templado, un bioclima hiperoceánico y un ombrotipo ultrahiperhumedo. Destaca en este tipo de clima la alta pluviosidad líquida y de granizo en el archipiélago, mientras que en sectores altos de las islas precipita nieve (800 msnm). El agua caída anual alcanza los 4.000 mm/año con una humedad relativa del 70%. La temperatura media anual es de 6 °C. Los cielos se presentan cubiertos casi todo el año por lo que hay una baja radiación solar. Los vientos del oeste, noroeste y suroeste son frecuentes e intensos en todas las estaciones (Garreaud *et al.* 2013; ICCH 2016; Luebert y Pliscoff 2017). En relación a las formaciones vegetacionales del área proglaciar Jorge Montt, éstas corresponden a un mosaico de vegetación sub-antártica azonal influenciada por la geomorfología, la alta precipitación y la dinámica constante de derrubios y deslizamientos de tierra (ICCH 2016). Se ha registrado una riqueza de 82 especies de plantas vasculares para el área del glaciar Jorge Montt y constituye el punto de encuentro entre diversas formaciones vegetacionales (Vela-Ruiz *et al.* 2011). En cambio, el área proglaciar Pío XI está representada por una zona costera con vegetación de marismas, que corresponden a comunidades halófilas de herbáceas que crecen en la zona intermareal. A continuación de esta zona, y hasta los 400 msnm, domina un bosque siempreverde templado-antiboreal costero de *Nothofagus betuloides*-*Drimys winteri* (Luebert y Pliscoff 2017). En los claros del bosque existen áreas de turberas de *Sphagnum magellanicum* Brid. y desde los 450 msnm comienza a dominar *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin. A medida que aumenta la altitud, el área está influenciada por los hielos del glaciar Pío XI, interactuando con el

herbazal de altitud y el área sin vegetación (Luebert y Pliscoff 2017). Ambas áreas de estudio (JM y PXI) se encuentran en exposición oeste (O).

### 3.2 Muestreo florístico

El muestreo de flora no vascular fue realizado entre el 15 de octubre y 10 de noviembre de 2015. El levantamiento de información se llevó a cabo siguiendo el gradiente de altitud en las rutas de turismo a implementar, las cuales estaban preestablecidas a partir de criterios turísticos (paisajístico, geomorfológico y de vegetación), como también históricos, a partir de la revisión de literatura que hace referencia a ascensiones y exploraciones en estas áreas (ICCH 2016). Las parcelas de muestreo se establecieron en cuatro y cinco niveles de altitud (JM y PXI, respectivamente), separados por 200 m cada uno (Figuras 2, 3 y 4). En cada nivel se realizaron cuatro parcelas de 1 m<sup>2</sup> separadas por 50 m cada una (Figura 4). En total se realizaron 16 parcelas en JM y 20 en PXI. En cada parcela se caracterizaron las variables de altitud, exposición, porcentaje visual de pedregosidad superficial y porcentaje de cobertura de plantas vasculares (Figura 5). La toma de muestras de plantas no vasculares se efectuó revisando toda la superficie en sentido horario y según los procedimientos descritos por Glime y Wagner (2017). Para verificar la presencia de gametofitos entre intersticios y la superficie de roca, o entre plantas vasculares se debió utilizar lupa 20X/40X. Asimismo se tomaron muestras de plantas vasculares de cada parcela y parte de este material se depositó en el Herbario SGO del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN).

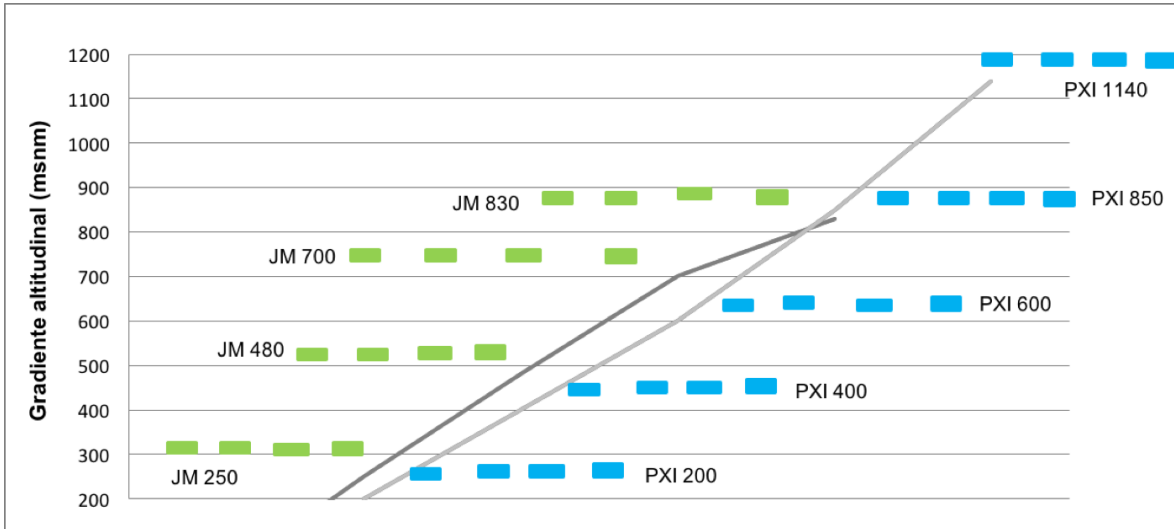


Figura 4. Representación esquemática de la distribución de las parcelas de muestreo de flora no vascular en el gradiente de altitud. Cuatro parcelas de 1 m<sup>2</sup> por cada nivel de altitud, separadas cada 50 metros de distancia lineal entre ellas. En verde se representan las parcelas muestreadas en JM y en azul en PXI.

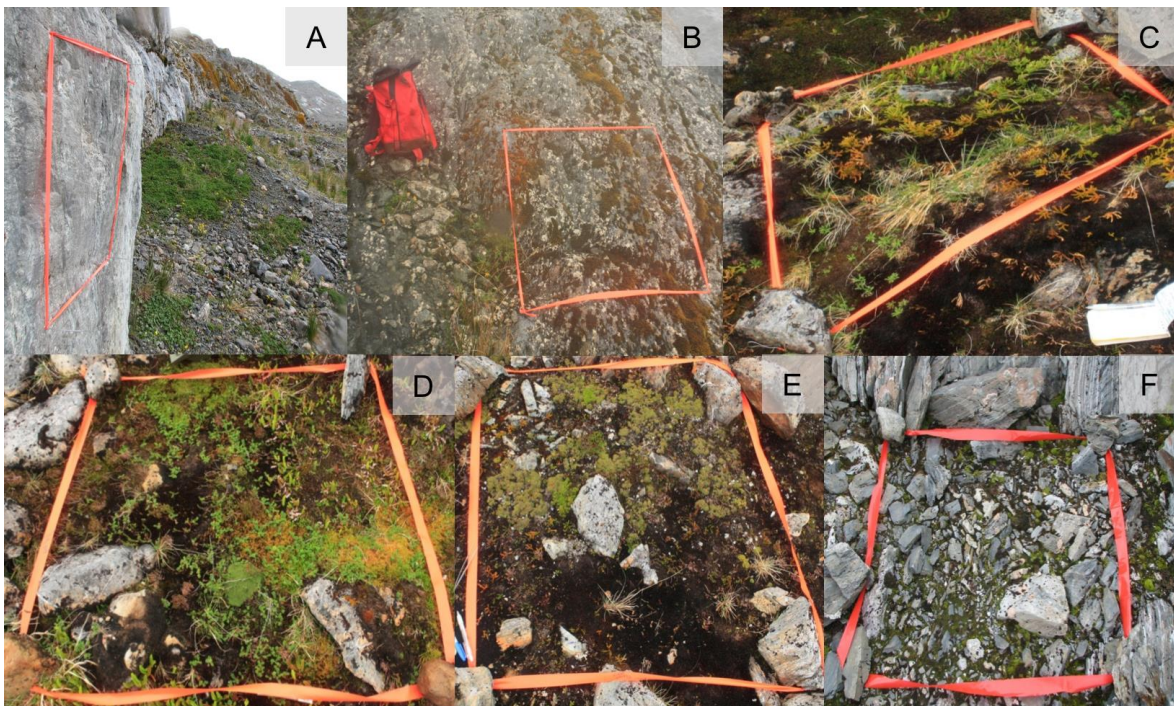


Figura 5. Parcelas de muestreo de 1 m<sup>2</sup> para el análisis de presencia de especies de flora no vascular en las áreas JM (A, B, C, D, E) y PXI (F).

### 3.3 Determinación y caracterización de las especies

Las muestras se analizaron preliminarmente en las áreas de estudio al estado hidratado utilizando una lupa de bolsillo 20X/40X, para su posterior herborización y confección de la base de datos (BD). Posteriormente, en dependencias del Herbario SGO del MNHN se realizó la determinación de las muestras en base al análisis macro-micro morfológico de los gametofitos/esporofitos al estado rehidratado bajo lupa y microscopio óptico, junto con el uso de claves taxonómicas y literatura especializada (Dusén 1906; Evans 1921; 1923; Roivainen 1954; Hässel de Menéndez 1963; Fulford 1966; 1976; Ochi 1970; 1982; Robinson 1975; Engel 1978; Hässel de Menéndez y Solari 1985; Matteri 1985; Schuster 2000; 2002; Grandstein *et al.* 2001; Buck 2002; Hedenäs 2003; Larraín 2007; Engel y Glenny 2008). En ciertos casos se aplicó tinción de safranina en los gametofitos para observar caracteres de utilidad taxonómica (e.i. anfigastros, papilas y paredes celulares). Gran parte del material recolectado de hepáticas (Marchantiophyta) se encontraba en fase vegetativa y los musgos (Bryophyta) presentaron en algunos casos sus esporofitos. La nomenclatura para las especies de musgos sigue la propuesta por Müller (2009), cuyas familias se revisaron de acuerdo con Goffinet *et al.* (2008) y la base de datos del Missouri Botanical Garden (USA) (<https://www.tropicos.org/Home.aspx>). Para las hepáticas y antocerotes (Anthocerotophyta) se consultaron las propuestas de Hässel de Menéndez y Rubies (2009) y Söderström *et al.* (2016). Además, se consultó la Base de Datos de Briófitas del Cabo de Hornos (<https://sites.google.com/site/capehornbryophytes/Home>). La verificación de las especies se realizó mediante la comparación con ejemplares de herbario (SGO, Chile y BA, Argentina) y finalmente, el material estudiado se depositó en el Herbario SGO del Museo Nacional de Historia Natural (SGO).

Junto con la determinación de las especies se consideraron tres aspectos ecológicos fundamentales que se relacionan, en gran medida, con el potencial que poseen musgos, hepáticas y antocerotes para ser utilizados como indicadores ambientales:

- i) Se consideró la morfología del gametofito, concepto que se relaciona con la orientación de crecimiento (crecimiento ortotrópico o vertical y crecimiento plagiotrópico u horizontal), y con los patrones de ramificación. En el caso de los musgos (Bryophyta) las especies determinadas se agruparon por tipo acrocarpo (A, crecimiento vertical y poco ramificado), dendroide (Den, crecimiento vertical muy ramificado en ápice) y pleurocarpo (Pl, crecimiento horizontal y profusamente ramificado). Para las hepáticas (Marchantiophyta) las especies se agruparon en foliosa (F, tallo y hojas claramente diferenciables) y talosa simple (TS, tallo y hoja no se diferencian) (Frego 2007; Stanton y Reeb 2016; Oishi 2018). En el caso de los antocerotes (Anthocerothophyta) todas las especies poseen morfología del tipo taloso simple (TS).
- ii) Se determinaron las formas de vida (FV) a partir de la observación de las especies en campo, el análisis de las muestras en laboratorio, la revisión de las fotografías de cada parcela muestreada y la consulta de literatura de las especies identificadas (Bates 1998; Grandstein *et al.* 2001; Ochyra *et al.* 2008; Glime 2013). Las formas de vida representan la organización en correspondencia con sus condiciones ambientales. En el caso de las briófitas, no es el individuo el que forma la unidad ecológica, sino la forma de vida clonal o colonial que está estructurada en función de minimizar la pérdida por evaporación y maximizar la captura de luz. Se consideraron ocho categorías: césped corto (Cc), césped largo (Cl), tapiz liso (Tl), cojín pequeño (Cp), dendroide (Den), hebra (Hr), trama (Tr) y tapiz taloide (Tt) (Glime 2013; 2017).
- iii) Para cada especie se determinó el tipo de sustrato sobre el que se encontraba establecida, pudiendo habitar la superficie de roca (R), suelo orgánico-mineral (S) o en ciertos casos, colonizar intersticios presentes entre plantas vasculares (PV). Algunas especies pueden ocupar más de uno de estos sustratos a la vez, por lo que se consensuaron seis categorías de sustratos en total: roca (R), suelo (S, orgánico o mineral),

plantas vasculares (PV, entre o sobre ellas), roca-planta vascular (R-PV), suelo-planta vascular (S-PV), y suelo-roca (S-R).

### 3.4 Patrones de distribución geográfica globales y en Chile

Los patrones de distribución geográfica (PDG) global de las especies determinadas fueron asignados a partir de revisión de literatura (Seki 1974; Schuster 2000; 2002; Ochyra y Matteri 2001; Ochyra *et al.* 2008; Engel y Glenny 2008; Hässel de Menéndez y Rubies 2009; León *et al.* 2014). Además, se consultaron la base de datos del Missouri Botanical Garden (USA) (<https://www.tropicos.org/Home.aspx>), y la base de datos global en biodiversidad GBIF para complementar con registros de herbarios en línea (<https://www.gbif.org/>). A partir de la información anterior y con el objetivo de homogeneizar y agrupar en categorías más generales la diversidad de patrones de distribución, se consideró la reciente propuesta del catálogo de musgos de la provincia de Capitán Prat (Larraín 2016), donde se presentan seis categorías de distribución geográfica global:

- i) Distribución amplia (Cos): especies cosmopolitas o subcosmopolitas presentes en ambos hemisferios, tanto en zonas tropicales como templadas.
- ii) Bipolar (Bp): especies distribuidas en las zonas templadas de ambos hemisferios con eventuales poblaciones aisladas a grandes altitudes en los trópicos.
- iii) Austral (As): especies con varias distribuciones a lo largo del hemisferio sur. Incluye especies con distribuciones circumsubantárticas muy amplias y estrechas, denominadas "sub-endémicas", compartidas en el sur de Sudamérica y Sudáfrica.
- iv) Andino (An): especies distribuidas principalmente a través de los Andes, pero compartidas incidentalmente con la Antártica, África o algunas islas subantárticas.



v) Endémica (En): especies que solo se conocen en el sur de Sudamérica, extendiéndose al Archipiélago de Juan Fernández, Islas Malvinas y Georgias del Sur.

vi) Pantropical (Pn): sus rangos cubren áreas templadas y tropicales del mundo, como Sudamérica, África meridional, Australasia e Indo-Malasia.

vii) Indeterminada (Ind): agrupa a las especies determinadas solo a nivel de género.

Por otra parte, los patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) se establecieron a partir de literatura taxonómica y catálogos de especies (Villagrán y Barrera 2002; Villagrán *et al.* 2002; Villagrán *et al.* 2005; Hässel de Menéndez y Rubies 2009; Müller 2009; León *et al.* 2014). Además, se consultó la base de datos del Missouri Botanical Garden (USA) (<https://www.tropicos.org/Home.aspx>) y GBIF (<https://www.gbif.org/>). Los PDCh se detallan a continuación:

i) Mediterráneo (M): agrupa a especies distribuidas en áreas interfluviales desde el río Choapa y Petorca al río Biobío (33-37° S).

ii) Valdiviano, Nord patagónico y Subantártico (VNS): incluye especies presentes desde el sur del río Biobío a la región de Los Ríos, incluyendo la región de Los Lagos y la isla grande de Chiloé, extendiéndose hasta la región de Aysén, Magallanes y Tierra del Fuego (38-54°S).

iii) Tierra del Fuego (TF): incluye Archipiélago de Tierra del Fuego y Cabo de Hornos (54-56°S).

iv) Archipiélago de Juan Fernández (AJF): Isla Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk (33°S/78°O).

v) Antártica (Ant): Península Antártica e islas adyacentes (56-65°S).

vi) Indeterminada (Ind): agrupa a las especies determinadas solo a nivel de género.

### 3.5 Caracterización ambiental

Para cada parcela se caracterizaron las siguientes condiciones ambientales: altitud, porcentaje de cobertura de piedras y rocas, y cobertura de flora vascular. Para la estimación de ambos porcentajes (roca y flora vascular) se dividió la parcela de muestreo en cuatro cuadrantes de 50 cm<sup>2</sup>, expresando la observación visual en porcentaje respecto del total (0-100%).

### 3.6 Análisis de datos sobre composición de flora no vascular

Los análisis de datos se realizaron para cada área de estudio (JM y PXI) de forma independiente, a partir del total de especies presentes en cada una, utilizando pruebas estadísticas no paramétricas:

- i) Se realizó un análisis de conglomerado o clúster para determinar la existencia de grupos o asociaciones de plantas no vasculares. Este análisis determina la distancia de los elementos de la base de datos de presencia de especies por parcela, en base a la similitud de sus componentes; es decir, qué tan semejante o cercana es una parcela a otra en función de la composición de especies (McCune y Grace 2002). Se utilizó la distancia de Sorensen para el cálculo y el método de enlace beta flexible ( $\beta= 0,25$ ) para la determinación de los grupos. El análisis se realizó en el programa PC – ORD versión 7.0 (McCune y Mefford 2011; 2015) y el agrupamiento fue representado mediante un dendrograma. Para este análisis fueron eliminadas las especies raras de la base de datos. Una especie rara fue considerada como aquella que se encontró en menos del 5% de las parcelas (McCune y Grace 2002), en este caso, fueron eliminadas las especies que sólo fueron registradas en una parcela (4 parcelas presentaron 1 especie, no consideradas en el presente análisis). Para validar la significancia estadística, se realizó un

análisis con el modelo MRPP (*Multi-Response Permutation Procedure* en inglés), el que permite examinar la hipótesis de que no existen diferencias significativas entre la composición de especies en las distintas agrupaciones.

- ii) A continuación, para evaluar la influencia de las variables ambientales consideradas en el presente estudio (punto 3.5) (altitud, porcentaje de cobertura de piedras y rocas, y de flora vascular), sobre los grupos de especies determinadas mediante el análisis de conglomerado, se realizó un análisis de ordenación o correspondencia sin tendencia (DCA, *Detrended Correspondence Analysis* en inglés). El DCA es una técnica de ordenación de vectores propios basada en el análisis de correspondencia (CA o RA), y se adapta a conjuntos de datos ecológicos y la terminología se basa en una muestra de unidades y especies. El análisis se realizó en el programa PC – ORD versión 7.0 (McCune y Mefford 2011; 2015).
  
- iii) Por último, para cada grupo determinado en el análisis de conglomerado, se determinó la presencia de especies indicadoras a través de un análisis ISA (ISA, *Indicator Species Analysis* en inglés). Este define las especies de mayor relevancia según su presencia en cada grupo (McCune y Grace 2002). Este método combina información sobre la concentración de presencia y/o abundancia de especies en un grupo particular y la fidelidad de la ocurrencia de ésta. Así, una especie indicadora perfecta de un grupo particular debe ser fiel y exclusiva de ese grupo; es decir, estar siempre presente en aquel y nunca en otro grupo, para este muestreo. El ISA se puede utilizar para contrastar el rendimiento de las especies individuales a través de dos o más unidades de muestra de grupos, en este caso los grupos determinados por el análisis de conglomerado. El valor de indicador posee un rango de 0 a 100, 0 implica un valor nulo de indicador y 100 es el indicador perfecto

(Dufrêne y Legendre 1997). El análisis se realizó en el programa PC – ORD versión 7.0 (McCune y Mefford 2011; 2015).

### 3.7 Propuesta de medidas para la conservación de flora no vascular

Con base en la información de la caracterización de la flora no vascular en cada área de estudio (JM y PXI), observaciones de campo y una revisión bibliográfica se determinaron las amenazas directas (Salafsky *et al.* 2008; Vanderpoorten y Hallingbäck 2008; Hodgetts *et al.* 2019) y se proponen medidas para la conservación de flora no vascular en el contexto de la implementación de potenciales rutas turísticas de ingreso al *plateau* del Campo de Hielo Sur (CHS). Además, se presenta una propuesta de indicadores de sustentabilidad para este grupo de plantas, para ser integrados en el proceso de manejo para la conservación del sector norte del CHS en el Parque Nacional Bernardo O’Higgins, en particular para aquellas áreas que se han definido como zonas de uso público para el desarrollo del turismo de interés especial.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de la Flora No Vascular

Se registró un total de 76 especies de briófitas considerando ambos sitios de estudios (JM y PXI) (Anexo 1). Específicamente en el área Jorge Montt (JM) se registraron 43 especies. De éstas, 19 especies (44 %) corresponden a musgos (Bryophyta) y 24 especies (56 %) a hepáticas (Marchantiophyta). No se registró presencia de antocerotes (Anthocerotophyta). La riqueza promedio es de 4,1 especies por parcela, con un mínimo de dos y máximo de ocho especies por parcela. Dicha riqueza de especies representa un total de 16 familias, siendo nueve de ellas de musgos y siete de hepáticas. Entre los musgos, las familias mejor representadas son Andreaeaceae Dumort., Bryaceae Schwägr. y Grimmiaceae Arn., con tres especies cada una. Respecto a las hepáticas, las familias mejor representadas son Lophocoleaceae Müll. Frib. ex Vanden Berghen, con siete especies distribuidas en seis géneros, y Adelanthaceae Grolle, con cuatro especies en tres géneros. Por último, la familia Lepidoziaceae Limpr. presenta tres especies distribuidas en tres géneros. Otras familias menos representadas en esta área son Schistochilaceae Schwägr. y Lepidolaenaceae Nakai, con dos especies cada una. En relación con los géneros mejor representados, entre los musgos destacan *Bryum* y *Andreaea* con tres especies cada uno y, los géneros *Dicranoloma* y *Racomitrium*, con dos especies cada uno. Por su parte, en las hepáticas, la mayor riqueza por género alcanza las dos especies, particularmente en los géneros *Adelanthus*, *Gackstroemia*, *Chiloscyphus*, *Lophocolea* y *Schistochila*.

Para el sitio de estudio Pío XI (PXI) se determinaron 51 especies de plantas no vasculares en total (Anexo 1). De éstas, 20 especies (39 %) corresponden a musgos (Bryophyta) y 31 especies (61 %) a hepáticas (Marchantiophyta), no registrándose antocerotes (Anthocerotophyta). La riqueza promedio de especies

es de 6,6 especies por parcela, con un mínimo de dos y un máximo de 14 especies por parcela. Dicha riqueza de especies representa un total de 27 familias, de las cuales 10 corresponden a musgos y 17 a hepáticas. Entre los musgos, las familias mejor representadas son Dicranaceae Schimp., con cuatro especies y, las familias Andreaeaceae Dumort., Grimmiaceae Arn., y Polytrichaceae Schwägr., con tres especies cada una. Respecto a las hepáticas, las familias mejor representadas son Lophocoleaceae Müll. Frib. ex Vanden Berghen, con cuatro especies y, las familias Adelanthaceae Grolle, Aneuraceae H. Klinggr., Lejeuneaceae Cavers. y Lepidoziaceae Limpr., con tres especies cada una. En relación con los géneros mejor representados, entre los musgos destacan *Dicranoloma* y *Racomitrium* con tres especies cada uno. En las hepáticas, el género *Riccardia* exhibe la mayor riqueza con tres especies.

Respecto a la morfología del gametofito, en el área JM 13 especies (68%) de las 19 especies de musgos son de tipo acrocarpo (A), dos especies (11%) del tipo dendroide (Den) y cuatro especies (21%) pleurocarpo (Pl). En el caso de las hepáticas, 23 especies (96%) son foliosas (F) y una especie (4%) talosa simple (TS) (Anexo 1 y Figura 6.a). En PXI, 15 especies (75%) de las 20 especies de musgos son de tipo acrocarpo (A), tres especies (15%) de tipo dendroide o arborescente (Den) y dos (10%) pleurocarpo (Pl). En las hepáticas, 28 especies (87%) son foliosas (F) y cuatro (13%) de tipo talosa simple (TS) (Anexo 1 y Figura 6.b).

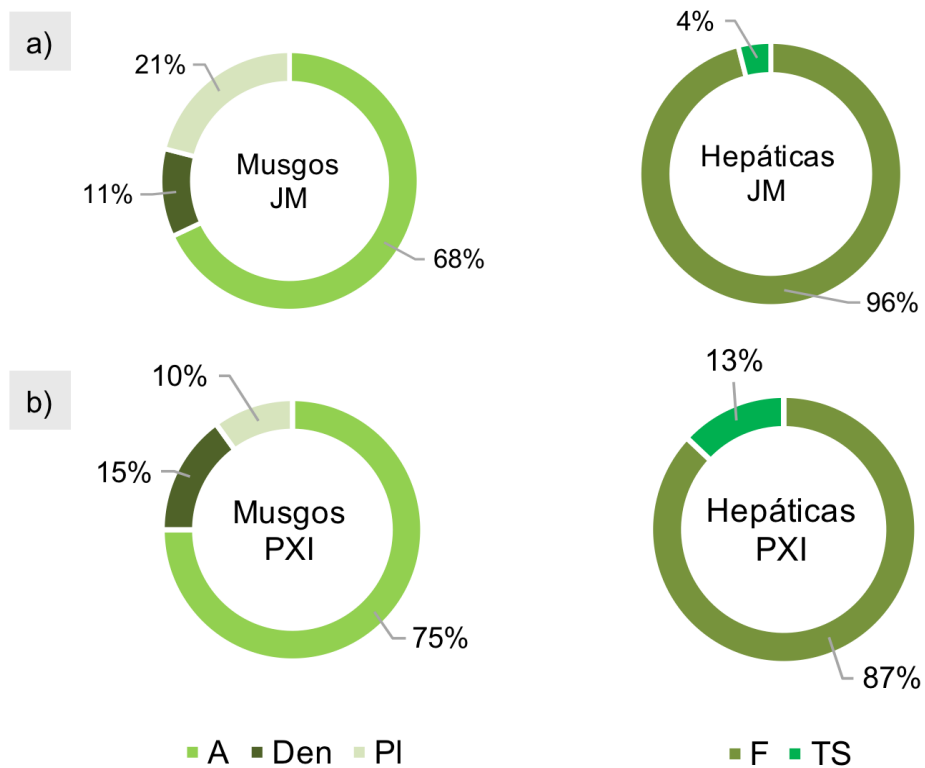


Figura 6. Porcentaje de las diferentes morfologías del gametofito en las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM) y b) área Pío XI (PXI). A (acrocarpo), Den (dendroide), PI (pleurocarpo), F (foliosa) y TS (talosa simple).

En ambas áreas de estudio, dominan los musgos de tipo acrocarpo (de crecimiento vertical y poco ramificados) y hepáticas de tipo foliosa (tallo y hojas claramente diferenciables) (Anexo 1). Estas morfologías se presentan en áreas con mayor porcentaje de roca superficial, sitios con sustrato rocoso y expuesto a las condiciones ambientales, propias de zonas lluviosas templadas frías. Las especies de musgos de tipo pleurocarpo se asociaron a áreas con mayor cobertura de flora vascular y los dendroides (arborescentes) son frecuentes en sitios con mayor humedad entre las rocas. Respecto a las hepáticas talosas simples, ocuparon sitios muy anegados entre rocas y flora vascular.

Respecto a las formas de vida (FV) de las especies, las Figuras 7 y 8 muestran los porcentajes de las categorías para musgos y hepáticas en ambas áreas de estudio, respectivamente. En el área JM, la FV más representada en los musgos es césped corto (Cc) con nueve especies (47%), seguida de tapiz liso (TI) con cuatro especies (21%) (Anexo 1 y Figura 7.a.c). En las hepáticas, las más representadas son tapiz liso (TI) con 12 especies (50%), y césped largo (CI) con cinco (21%) (Anexo 1 y Figura 8.a.c). En PXI, las FV más representadas en los musgos son los céspedes largos (CI) y cortos (Cc) con ocho y seis especies (40 y 30%), respectivamente (Anexo 1 y Figura 7.b.c).

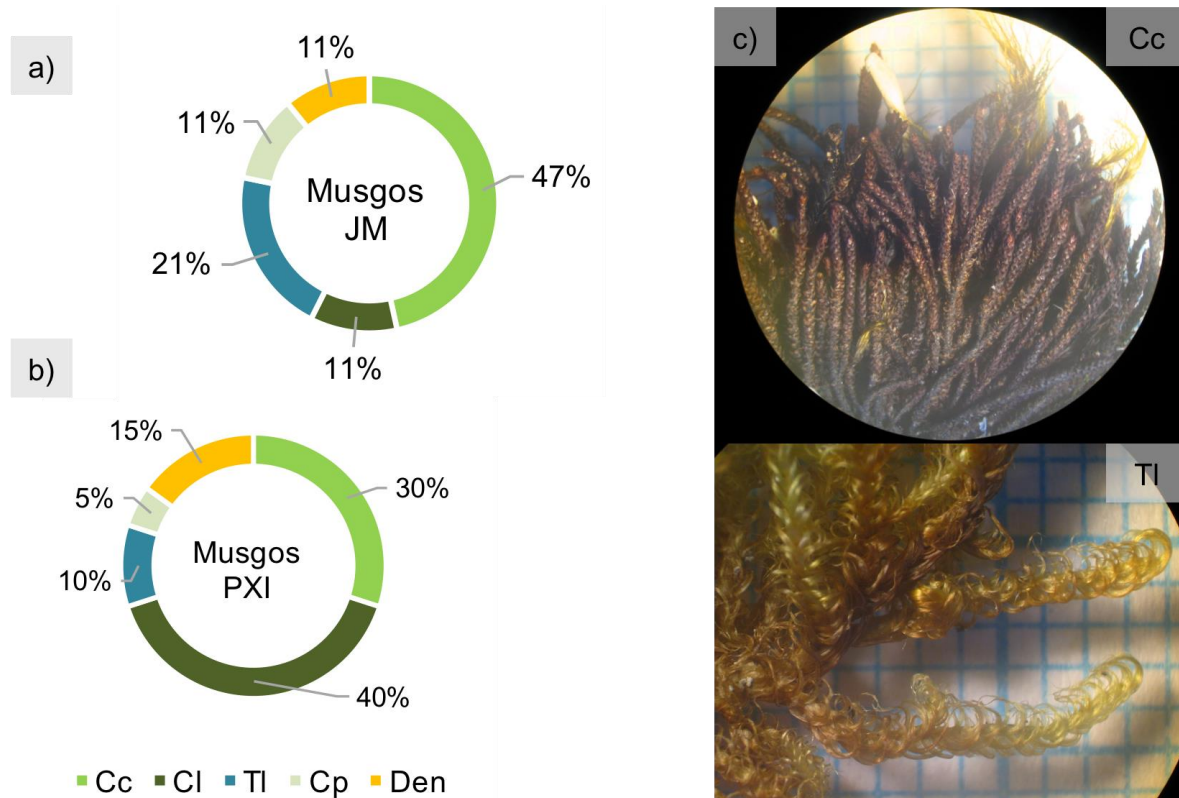


Figura 7. Porcentajes de las categorías de FV de musgos registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI), c) las dos categorías más representadas bajo lupa estereoscópica. Cc (césped corto), CI (césped largo), TI (tapiz liso), Cp (cojín pequeño) y Den (dendroide).



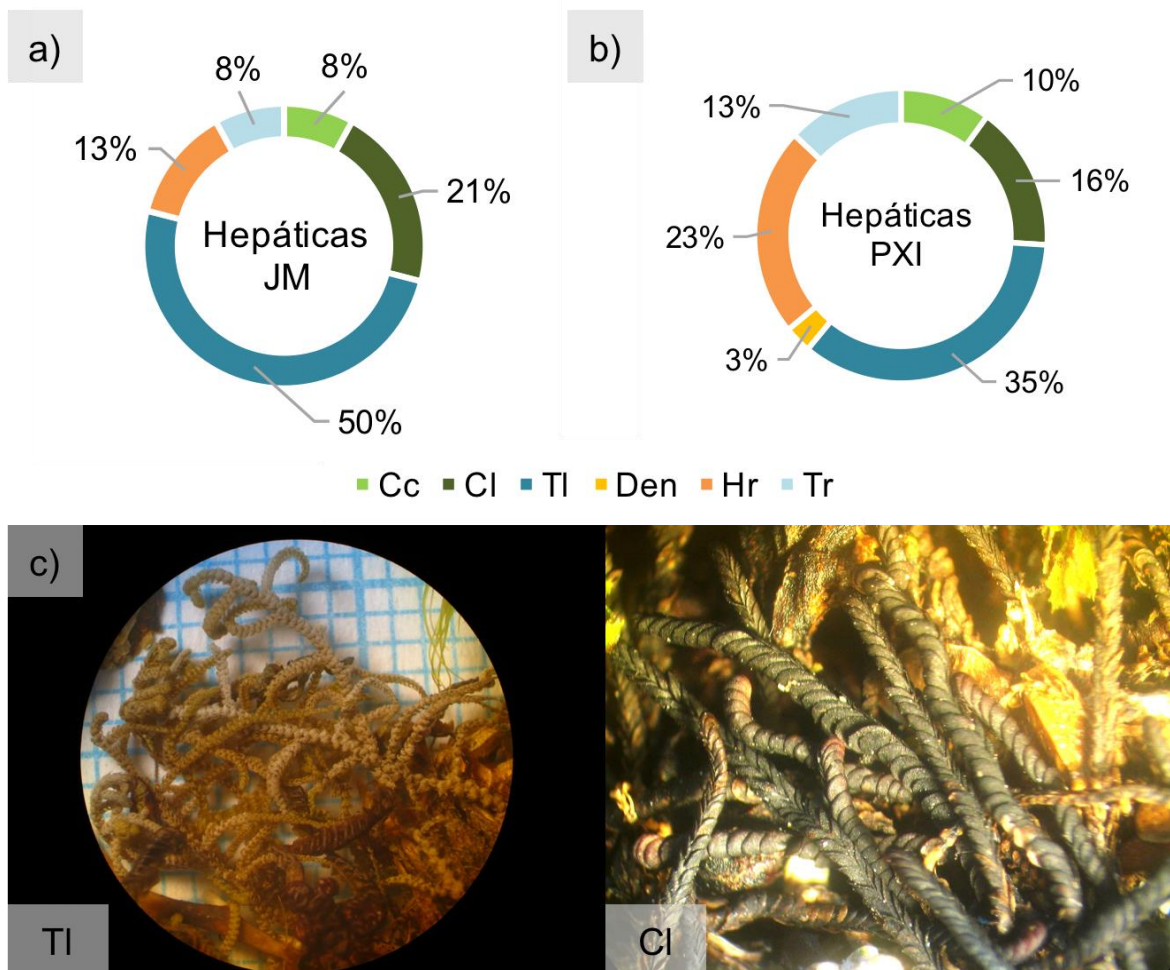


Figura 8. Porcentajes de las categorías de FV de hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI), c) las dos categorías más representadas bajo lupa estereoscópica. Cc (césped corto), CI (césped largo), TI (tapiz liso), Den (dendroide), Hr (hebra) y Tr (trama).

Respecto a las hepáticas, las FV más representadas son los tapices lisos (TI) con once especies (35%) y hebras (Hr) con siete especies (23%) (Anexo 1 y Figura 8.b.c). En general, la FV cojín pequeño (Cp) solo se presentó en musgos, mientras que hebra (Hr) y trama (Tr) son exclusivas de hepáticas (Anexo 1 y Figuras 7 y 8).

Finalmente, respecto a los sustratos colonizados, en el área JM la mayoría de las especies determinadas habitan entre el suelo orgánico o mineral y plantas vasculares (35%), sobre o entre rocas (28%) y entre plantas vasculares (23%) (Figura 9.a). En este sentido las parcelas con superficies de rocas desnudas de vegetación y parcelas cubiertas con plantas vasculares concentran los mayores porcentajes de especies. En rocas destacan musgos acrocarpos y hepáticas foliosas de los géneros *Andreaea*, *Grimmia* y *Bryum*. Entre la flora vascular son frecuentes hepáticas foliosas de los géneros *Chiloscyphus*, *Leptoscyphus*, *Lophocolea* y *Adelanthus*.

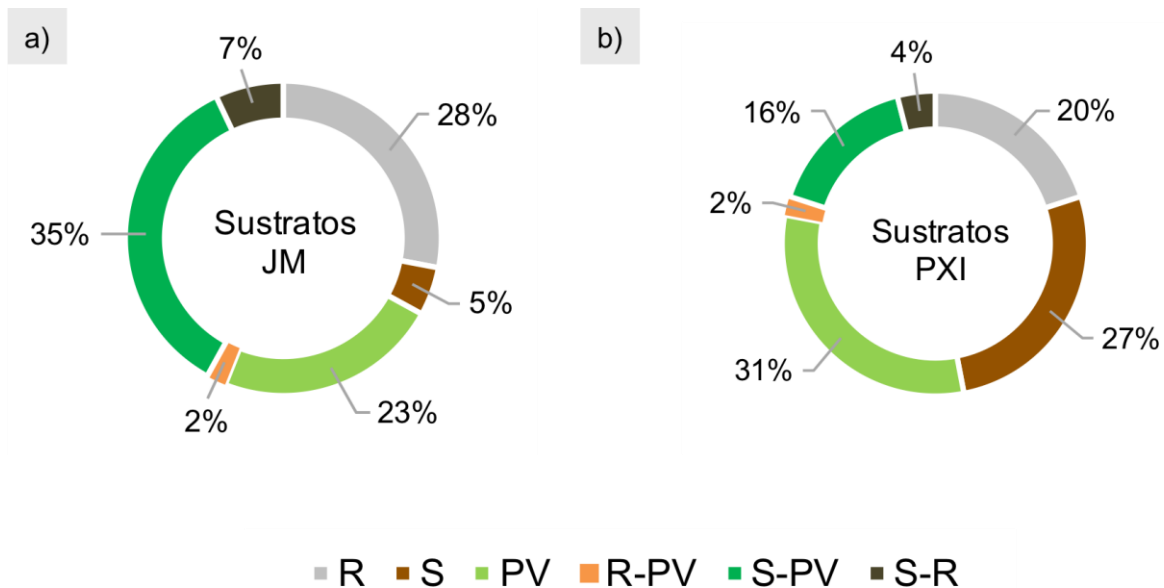


Figura 9. Porcentajes de los sustratos que colonizan las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio. a) área Jorge Montt (JM), b) área Pío XI (PXI). R (roca), S (suelo orgánico o mineral), PV (plantas vasculares), R-PV (roca-planta vascular), S-PV (suelo-planta vascular) y S-R (suelo-roca).

En PXI, los sustratos más colonizados por las especies fueron plantas vasculares (31%), suelo (27%) y sobre o entre rocas (20%) (Figura 9.b). En esta área, en las parcelas con superficies dominadas por flora vascular herbácea y arbustiva

dominan especies de musgos y hepáticas de los géneros *Dicranoloma*, *Frullania* y *Dyplophyllum*. En tanto superficies rocosas, presentan especies de musgos acrocarpos y hepáticas foliosas de los géneros *Andreaea*, *Acroschisma*, *Ditrichum* y *Anastrophyllum*.

#### 4.2 Patrones de distribución geográfica: globales y en Chile

En el área JM, del total de especies determinadas los porcentajes mayores corresponden a especies endémicas (En) (35%) y de distribución austral (As) (26%) (Figura 10.a). Siete especies (16%) solo se pudieron determinar a nivel de género, quedando incluidas como de distribución geográfica indeterminada (Ind). En el área PXI, del total de especies, 31% son endémicas (En) y un 29% de distribución austral (As), con ocho especies (16%) determinadas a nivel de género (Ind) (Figura 10.b). Al analizar de forma independiente entre musgos y hepáticas, se observa que las distribuciones mejor representadas en los musgos de JM son: distribución austral (As) (26%), distribución amplia (Cos) (16%) y endémicas (En) (11%), con cinco, tres y dos especies, respectivamente (Figura 11.a). Cuatro especies solo se determinaron a nivel de género (21%). En las hepáticas, el 54% son endémicas (En) y el 25% de distribución austral (As), con 13 y seis especies, respectivamente. Tres especies (13%) solo se pudieron determinar a nivel de género (Figura 11.a).

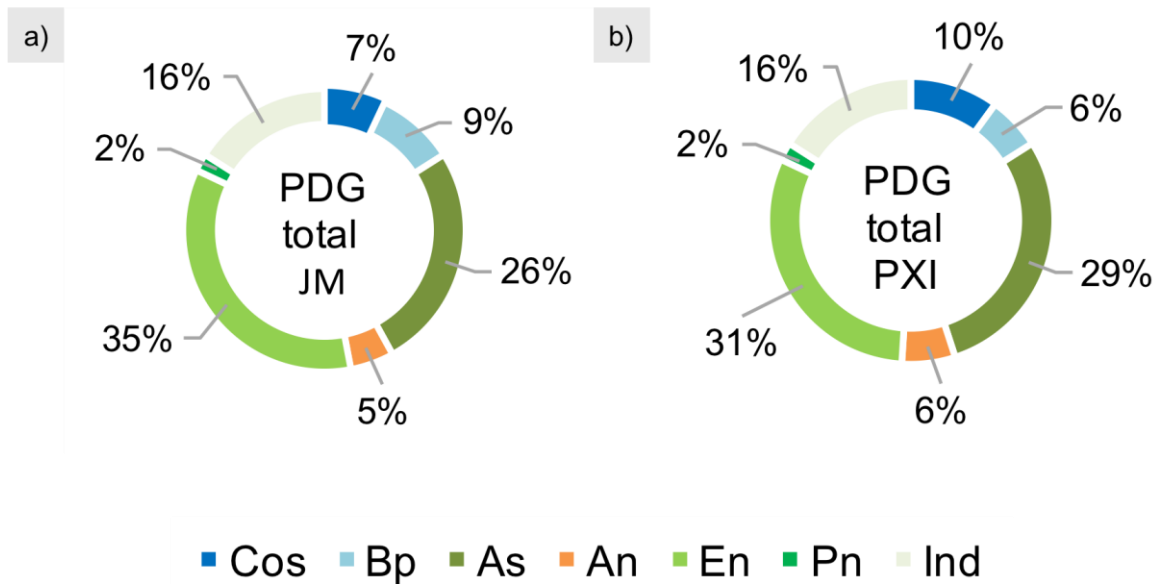


Figura 10. Patrones de distribución geográfica global (PDG) para el total de especies de musgos y hepáticas registradas en ambas áreas de estudio. a) Total de especies (n=43) en el área JM, b) total de especies (n=51) en el área PXI. Cos (distribución amplia), Bp (bipolar), As (austral), An (andino), En (endémica), Pn (pantropical) e Ind (indeterminada).

En el área PXI, en los musgos, las distribuciones mejor representadas son: distribución austral (As) (30%), distribución amplia (Cos) (20%) y andinas (An) (15%), con seis, cuatro y tres especies, respectivamente (Figura 11.b). Cuatro especies solo se determinaron a nivel de género (20%). En las hepáticas, el 49% son endémicas (En) y el 29% de distribución austral (As), con 15 y nueve especies, respectivamente. Cuatro especies (13%) solo se pudieron determinar a nivel de género (Figura 11.b).

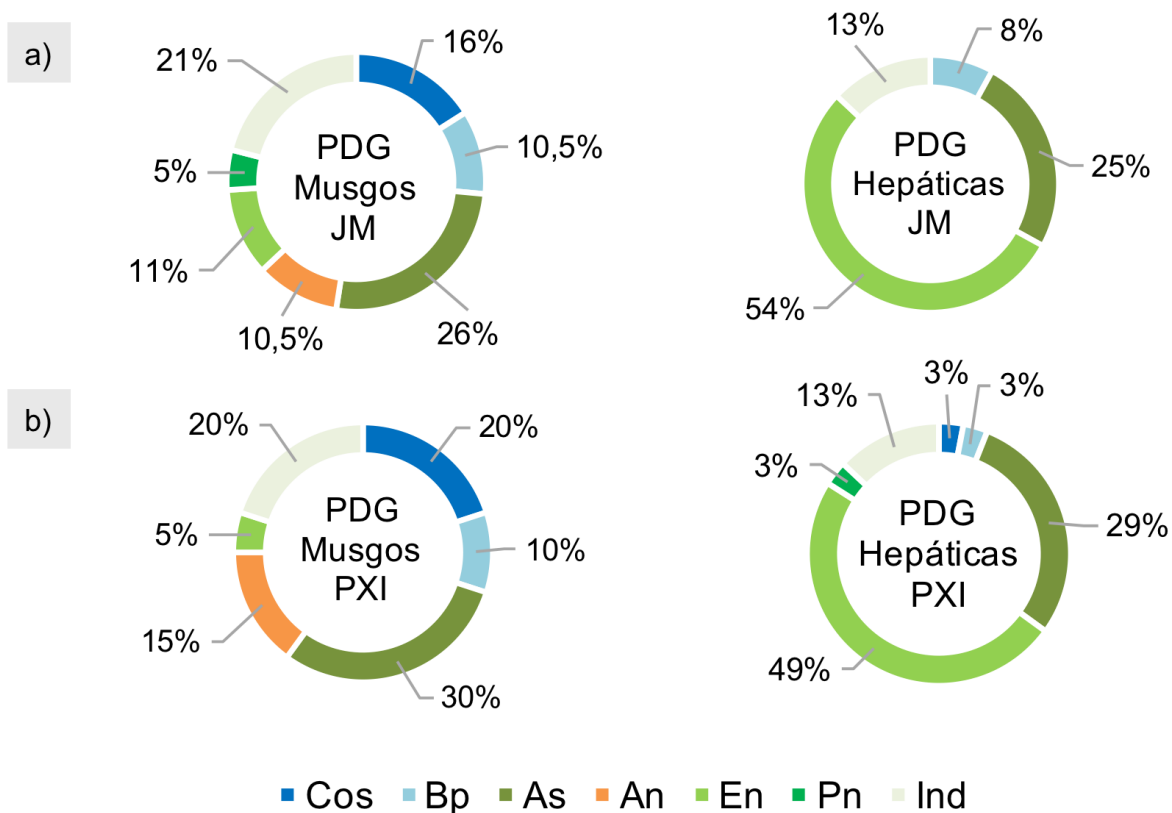
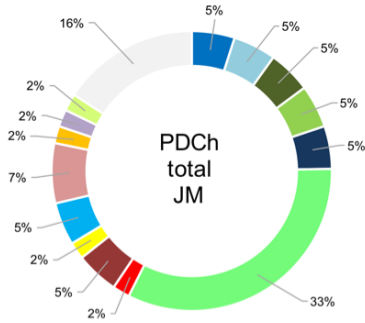


Figura 11. Patrones de distribución geográfica global (PDG) para especies de musgos y hepáticas mostrados de forma independiente en ambas áreas de estudio. a) PDG de musgos y hepáticas en el área JM, b) PDG de musgos y hepáticas en el área PXI. Cos (distribución amplia), Bp (bipolar), As (austral), An (andino), En (endémica), Pn (pantropical) e Ind (indeterminada).

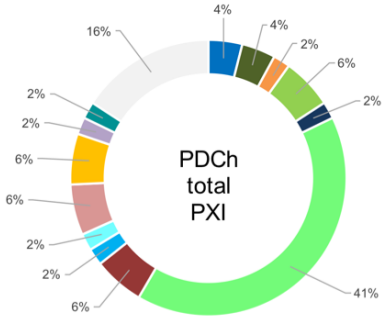
Respecto a los patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh), en el área JM se registraron 14 patrones de distribución geográfica y en PXI 13 (Figura 12). En ambas áreas, el patrón predominante es el valdiviano nordpatagónico subantártico (VNS), con 14 especies (33%) en el área JM y 21 (41%) en PXI (Figura 12). Los demás patrones geográficos corresponden a variantes que incorporan extensiones de distribución hacia la zona mediterránea de Chile central (M, ChC), el Archipiélago de Juan Fernández (AJF), Tierra del Fuego (TF) y la península Antártica e islas adyacentes (Ant), como también variaciones de estos (Figura 12). Las especies indeterminadas corresponden al 16% en ambas áreas de estudio.

a)



- M-VNS
- M-VNS-TF-Ant
- VNS-TF
- N-TF
- M-VNS-TF
- VNS
- VNS-AJF
- S-Ant
- M-VNS-AJF
- VNS-ChC
- VNS-TF-Ant
- Ind
- M-VNS-TF-AJF-Ant
- VNS-ChC-AJF
- NS

b)



- M-VNS
- M-VNS-TF-Ant
- VNS-Ant
- N-TF-Ant
- M-VNS-AJF
- VNS
- VNS-TF-Ant
- Ind
- M-VNS-Ant
- VNS-ChC-AJF
- NS
- M-VNS-TF-AJF-Ant
- VNS-AJF
- N-TF

Figura 12. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para el total de especies de musgos y hepáticas registradas en ambas áreas de estudio. a) total de especies (n=43) en el área JM, b) total de especies (n=51) en el área PXI. M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).

Al analizar de forma independiente entre musgos y hepáticas, se observa en el área JM que en los musgos se mantiene la predominancia de especies valdivianas nordpatagónicas subantárticas (VNS) con tres especies (16%), y que este patrón se repite en las hepáticas, pero en una mayor proporción con 11 especies (46%) (Figura 13).

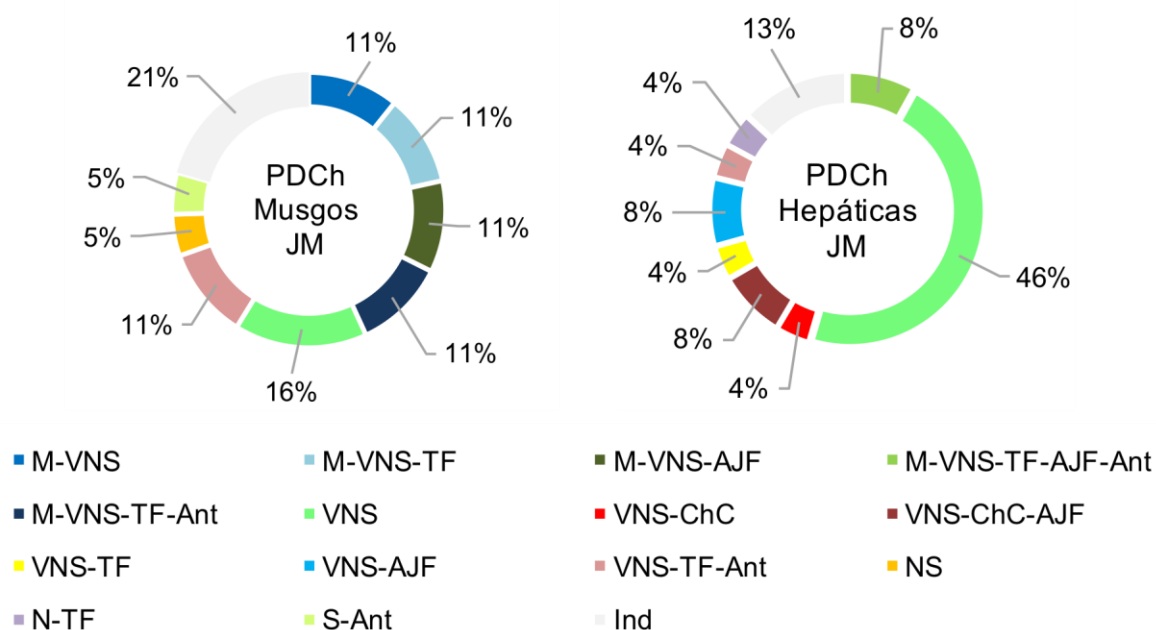


Figura 13. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para especies de musgos y hepáticas registradas en el área de estudio JM (n=43). M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), S (subantártico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).

Asimismo, en el área PXI también se observa el patrón nordpatagónico subantártico (VNS) como dominante tanto en musgos, como en hepáticas; sin embargo, en una proporción mayor que en el área JM. En los musgos seis especies presentaron este patrón (30%) y en las hepáticas 15 (48%) (Figura 14).

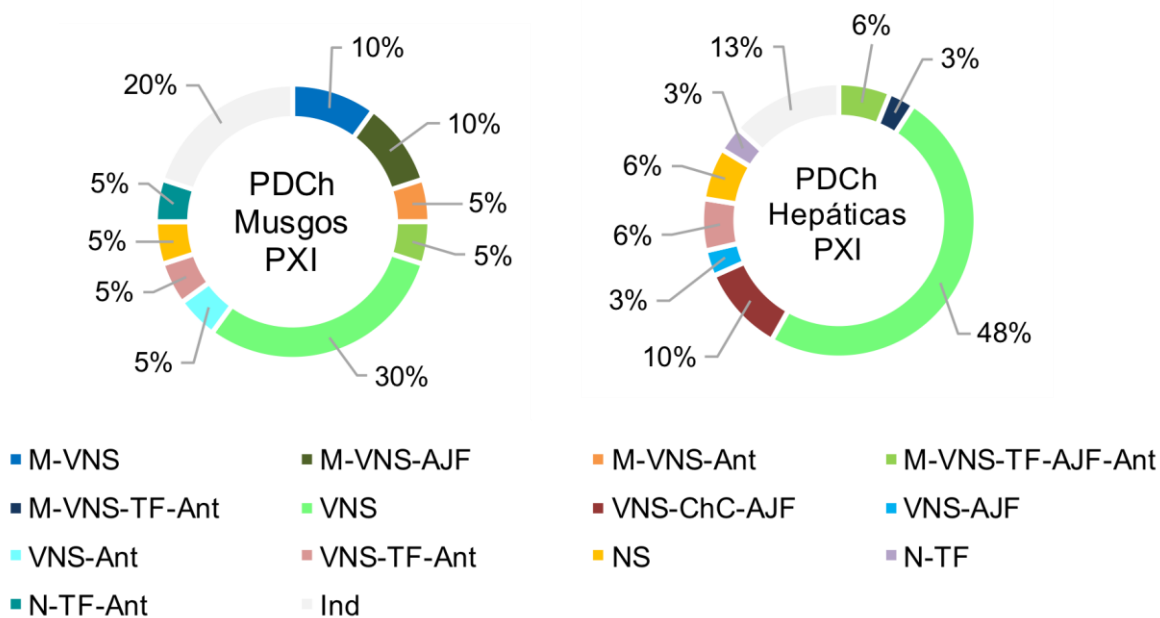


Figura 14. Patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh) para especies de musgos y hepáticas registradas en el área de estudio PXI (n=51). M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).



### 4.3 Análisis de datos sobre composición de flora no vascular

El análisis de conglomerado en el área JM muestra la existencia de dos grupos o asociaciones de musgos y hepáticas (Figura 15). El primer grupo está compuesto por siete parcelas (5B, 5C, 5D, 6C, 6D, 7A y 7C), y agrupa un total de 15 especies, 11 musgos y cuatro hepáticas. Las parcelas del nivel 5 corresponden a sitios rocosos con baja cobertura de flora vascular, presentes a los 250 msnm. Las parcelas en los niveles 6 y 7, poseen una mayor proporción de flora vascular, y están presentes entre los 480 y 700 msnm. El segundo grupo está conformado por cinco parcelas (7B, 7D, 8B, 8C y 8D), agrupando un total de 22 especies, cinco musgos y 17 hepáticas. Estas se distribuyen entre los 700 y 800 msnm, con mayores coberturas de plantas vasculares y de rocas y piedra a nivel superficial. Esta separación de la composición de flora no vascular en dos grupos se basa además en la existencia de diferencias estadísticas entre ellas (análisis MRPP;  $p < 0,002$ ).

El análisis de correspondencia DCA para el área JM presentó una solución de dos dimensiones, la que logra describir el 55,2% de la varianza que existe en la ordenación de la composición de especies en las parcelas. La proporción de la varianza explicada por cada eje en la ordenación es de 42,6% para el primer eje y de 12,6% para el segundo eje. El primer eje está explicado especialmente respecto a la altitud, mientras que el segundo eje respecto a la cobertura de flora vascular y en menor medida al sustrato rocoso (Figura 17 y Tabla 1). Este análisis de correlación sustenta la separación de las parcelas por sus composiciones de especies en dos grupos, el primero encontrándose a menor altitud y el segundo a mayor altitud.

En el área PXI, el análisis de conglomerado obtuvo cinco grupos o asociaciones de musgos y hepáticas (Figura 16). El grupo 1 está compuesto por cuatro parcelas (9A, 9B, 9C y 9D) y agrupa un total de 12 especies, nueve musgos y tres hepáticas. Todas corresponden al nivel de elevación de los 1140 msnm, en el llamado herbazal de altitud y en zonas sin vegetación, donde domina el sustrato

rocoso y nieve. El grupo 2 está conformado por tres parcelas (10A, 10B y 10D), con un total de 19 especies, siete musgos y 12 hepáticas, del nivel de elevación de los 800 msnm. En este nivel se presenta el herbazal de altitud y ejemplares achaparrados de *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. sobre plantas pulvinadas y entre rocas colonizadas por musgos, hepáticas y líquenes. El grupo 3 está conformado por tres parcelas (13A, 10C y 11D), agrupando seis especies, dos musgos y cuatro hepáticas. Estas parcelas corresponden a los niveles de altitud de 190, 600, 840 msnm, respectivamente, y poseen una abundante cobertura de flora vascular. El grupo 4 comprende cinco parcelas (11A, 11B, 12A, 12C y 13B), agrupando trece especies, tres musgos y 10 hepáticas, de los niveles de altitud de 600, 400 y 190 msnm, respectivamente. En general, estas parcelas no poseen cobertura de rocas y piedras, siendo abundante la flora vascular. Por último, el grupo 5 está conformado por tres parcelas (11C, 12B y 12D), y agrupa 10 especies, un musgo y nueve hepáticas, entre los 400 y 600 msnm, con abundante flora vascular. El análisis MRPP obtuvo diferencias significativas entre los grupos de especies mencionados ( $p < 0,002$ ).

Para el área PXI, el análisis de correspondencia DCA indica que una solución de tres dimensiones logra describir el 53,0% de la varianza que existe en la ordenación de la composición de especies en las parcelas. Los dos primeros ejes explican el 51,8% (eje 1 el 35,2% y el eje 2 el 16,6%). El primer eje está relacionado con las tres variables ambientales estimadas en terreno: la altitud, el porcentaje de sustrato rocoso y el porcentaje de cobertura de flora vascular. El segundo eje se relaciona también con la altitud y el porcentaje de cobertura de flora vascular (Figura 18 y Tabla 2). Este análisis de ordenación confirma la separación de las parcelas en grupos por sus diferentes composiciones de especies. En este análisis, la composición de especies del grupo 1 muestra una mayor afinidad a condiciones ambientales de mayor altitud y mayor sustrato de rocas y piedras, respecto a los otros grupos. Mientras que, los otros cuatro grupos, presentan mayor afinidad a la presencia de cobertura de flora vascular, especialmente los 4 y 5 (Figura 18).

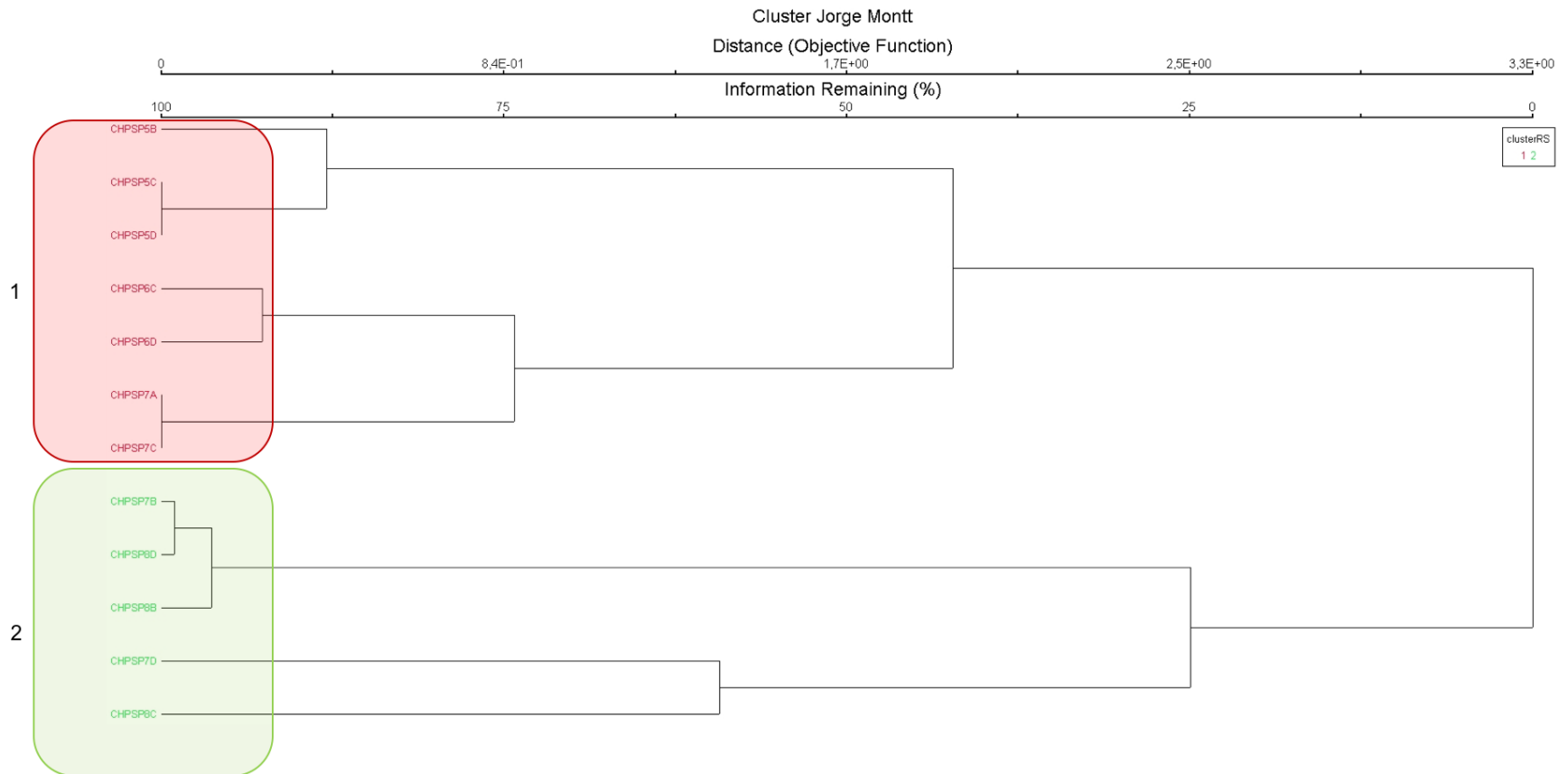


Figura 15. Dendrograma de agrupamiento para el área JM donde se muestran los dos grupos de parcelas obtenidos. Grupo 1 (rojo) y 2 (verde).

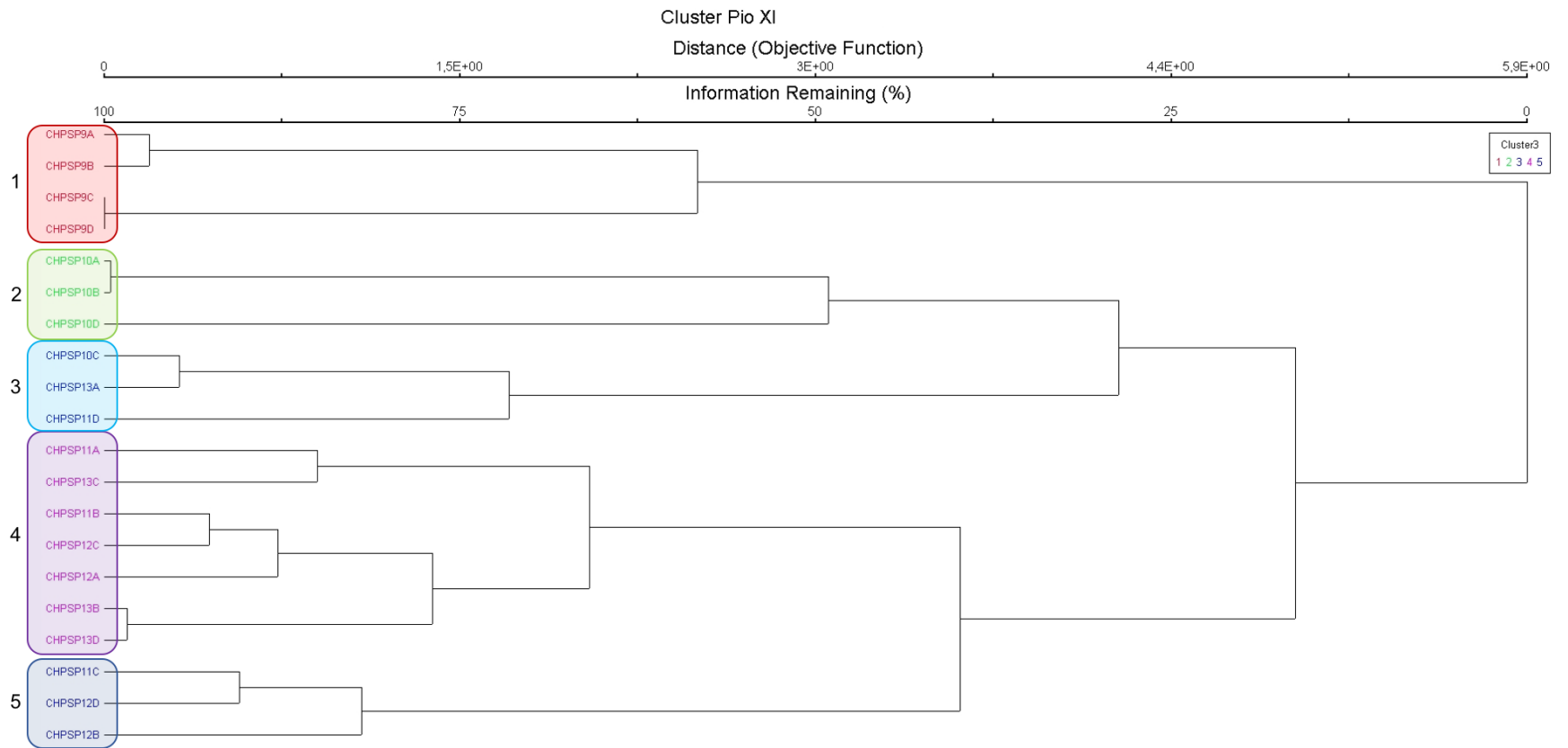


Figura 16. Dendrograma de agrupamiento para el área PXI donde se muestran los cinco grupos de parcelas obtenidos.

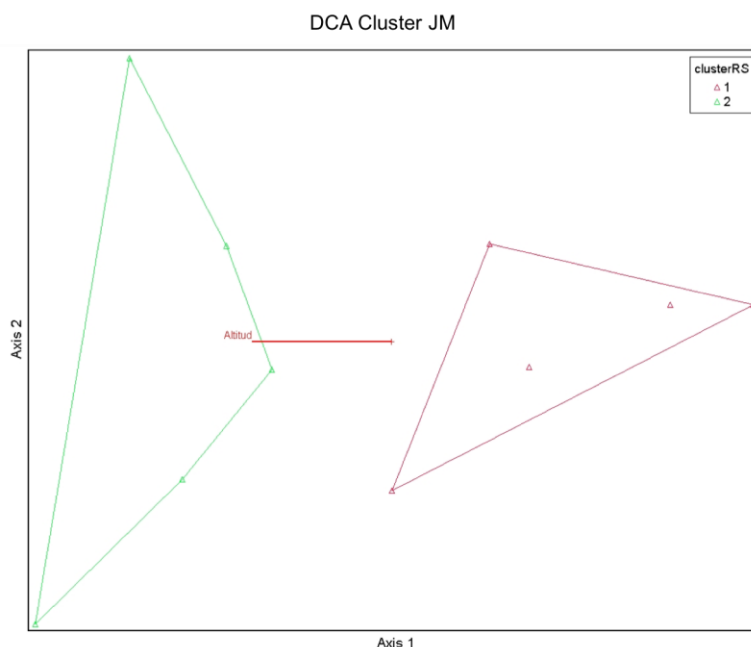


Figura 17. Representación del análisis de correspondencia (DCA) para el área JM. Se observan los dos grupos de parcelas obtenidos del análisis de conglomerado (grupo 1 en rojo y 2 en verde).

Tabla 1. Correlación de Pearson (r) de las variables ambientales respecto a los ejes de ordenación de parcelas con presencia de especies de musgos y hepáticas en el área JM.

Variables ambientales	Correlación respecto eje 1	Correlación respecto eje 2
Altitud (msnm)	-0,622	0,051
% roca superficial	0,112	-0,277
% cobertura flora vascular	0,132	0,399

### DCA Cluster PXI

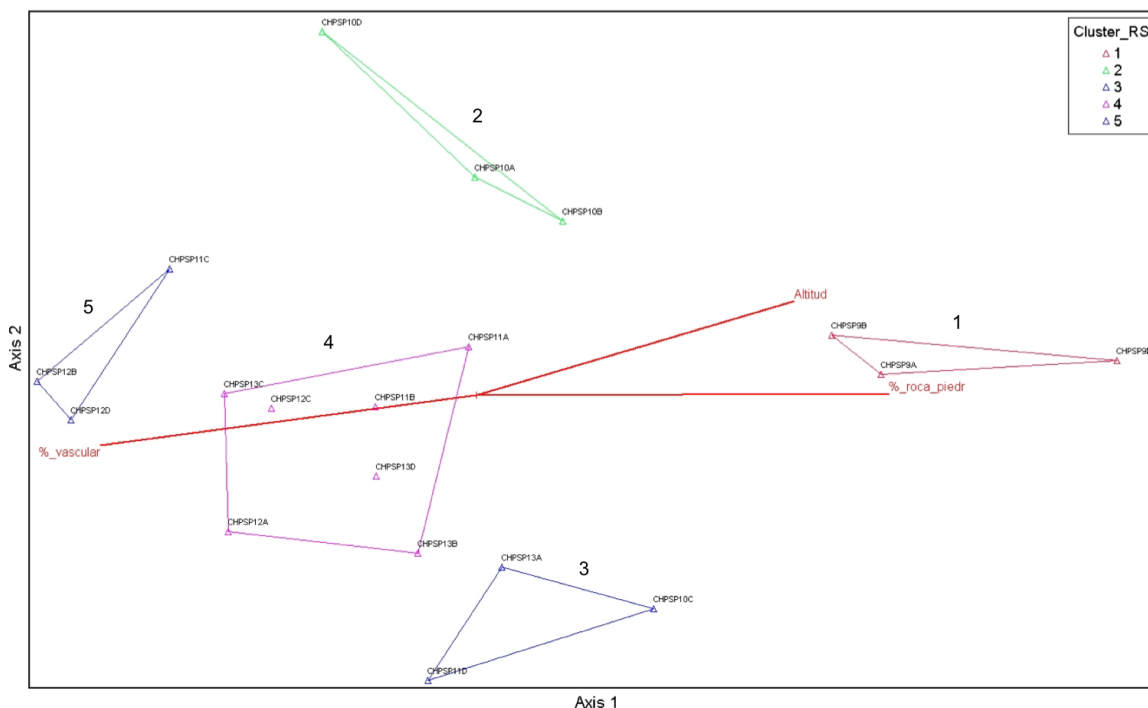


Figura 18. Representación del análisis de correspondencia (DCA) para el área PXI. Se indica el número de cada grupo de parcelas obtenidos del análisis de conglomerado.

Tabla 2. Correlación de Pearson (r) de las variables ambientales respecto a los ejes de ordenación de parcelas con presencia de especies de musgos y hepáticas en el área PXI.

Variables ambientales	Correlación respecto eje 1	Correlación respecto eje 2	Correlación respecto eje 3
Altitud (msnm)	0,767	0,418	-0,323
% roca superficial	0,874	0,050	-0,178
% cobertura flora vascular	-0,835	-0,305	0,246

Finalmente, el análisis de especies indicadoras (ISA), para los dos grupos de parcelas del área JM, señala un total de tres especies indicadoras, todas hepáticas (Tabla 3). Para el primer grupo de parcelas, se señala a la especie *Syzygiella colorata* (Lehm.) K. Feldberg, Váña, Hentschel & Heinrichs, hepática que habita sobre el sustrato rocoso en céspedes cortos (Cc). Para el segundo grupo, se señalan indicadoras a las hepáticas foliosas *Adelanthus lindenbergianus* (Lehm.) Mitt y *Lepidozia* cf. *laevifolia* (Hook. f. & Taylor) Gottsche, Lindenb. & Nees. Estas hepáticas crecen entrelazadas entre la flora vascular, el suelo y la roca. *Adelanthus lindenbergianus* crece formando céspedes cortos (Cc) y *L. cf. laevifolia*, en forma de tramas (Tr).

Tabla 3. Especies indicadoras (ISA) para los grupos de parcelas en el área JM. Se indican los grupos del análisis de conglomerado, el valor de indicador (0-100) y el valor de p.

Grupo análisis conglomerado	especie	valor indicador	valor p
1	<i>Syzygiella colorata</i>	71,4	0,0086
2	<i>Adelanthus lindenbergianus</i>	60	0,0444
	<i>Lepidozia</i> cf. <i>laevifolia</i>	60	0,0444

El análisis de especies indicadoras (ISA) señala un total de nueve especies para el área PXI, seis musgos y tres hepáticas (Tabla 4). Para el grupo 1 se señalan las especies *Racomitrium didymum* (Mont.) Lorentz y *Ditrichum* cf. *cylindricarpum* (Mull. Hal.) F. Muell., ambos musgos que crecen sobre sustrato rocoso. Para el grupo 2 *Campylopus* cf. *acuminatus* Mitt., *Conostomum pentastichum* (Brid.) Lindb y *Telaranea* sp. Los dos primeros son musgos que crecen en suelo y roca, respectivamente. *Telaranea* sp. es una hepática de pequeño tamaño que crece entre suelo y plantas vasculares formando hebras (Hr). Para el grupo 3, la especie indicadora es *Dicranoloma robustum* (Hook. f. & Wilson) Paris, musgo que crece

entre plantas vasculares, y en el grupo 4, *Diplophyllum recurvifolium* C. Massal., hepática foliosa que también crece entre plantas vasculares. Finalmente, en el grupo 5, hay dos especies indicadoras, *Dicranoloma imponens* (Mont.) Renaud y *Gackstroemia patagonica* (Steph.) Grolle. La primera es un musgo que crece entre plantas vasculares y la segunda es una hepática que crece sobre suelo y plantas vasculares.

Tabla 4. Especies indicadoras (ISA) para los grupos de parcelas en el área PXI. Se indican los grupos del análisis de conglomerado, el valor de indicador (0-100) y el valor de p.

Grupo análisis conglomerado	especie	valor indicador	valor p
1	<i>Racomitrium didymum</i>	100	0,0004
	<i>Ditrichum cf. cylindricarpum</i>	75	0,0082
2	<i>Campylopus cf. acuminatus</i>	66,7	0,0494
	<i>Conostomum pentastichum</i>	66,7	0,0494
	<i>Telaranea sp.</i>	66,7	0,0494
3	<i>Dicranoloma robustum</i>	58,3	0,0016
4	<i>Diplophyllum recurvifolium</i>	100	0,0002
5	<i>Dicranoloma imponens</i>	66,7	0,042
	<i>Gackstroemia patagonica</i>	77,8	0,0062



#### 4.4 Propuesta de medidas para la conservación de flora no vascular

##### 4.4.1 Amenazas directas

Para ambas áreas de estudio (JM y PXI) se identificaron tres amenazas directas sobre las comunidades de musgos y hepáticas caracterizadas (Tabla 5). Estas generan degradación y destrucción del hábitat y/o sustratos, alteran las formas de vida, disminuyendo su capacidad de dispersión, establecimiento y tasas de supervivencia (Söderström y Gunnarsson 2003; Vanderpoorten y Hallingbäck 2009; Hodgetts *et al.* 2019).

Tabla 5. Amenazas para las comunidades de flora no vascular determinadas en las áreas de estudio JM y PXI.

Nº	Amenazas directas	Área de estudio	
		JM	PXI
1	Pisoteo debido al tránsito de visitantes y caballos a lo largo de las rutas turísticas JM-PXI	x	x
2	Introducción y establecimiento de semillas/esporas/propágulos de especies exóticas invasoras (EEI) de flora vascular y no vascular debido al ingreso de visitantes y/o caballos hacia las rutas turísticas JM-PXI	x	x
3	Escaso conocimiento de las comunidades locales, operadores turísticos y visitantes, sobre la diversidad, amenazas y medidas de conservación de flora no vascular	x	x

- *Pisoteo debido al tránsito de visitantes y caballos a lo largo de las potenciales rutas turísticas JM y PXI*

El pisoteo causado por la acción de los visitantes y caballos es el factor de daño biofísico más frecuente en las áreas silvestres protegidas, alterando la vegetación, la riqueza de especies, la exposición del suelo y la degradación del sendero (erosión y profundidad del sendero), donde los mayores impactos se encuentran en los senderos y en áreas inmediatamente aledañas. Además, la compactación

del suelo es un efecto directo de la acción de los visitantes y tránsito de caballos (Farrell y Marion 2002; Pickering y Hill 2007; Pickering *et al.* 2010; De la Maza *et al.* 2014; Leung *et al.* 2019). El ingreso de caballos para el transporte de carga es frecuentemente utilizado para realizar la visita a la ruta turística del sitio JM, siendo uno de los aspectos claves en la planificación y ejecución de los trekkings, el que cuenta con el respectivo apoyo logístico por parte de guías y/o porteadores. En el caso de la ruta turística del área PXI, la utilización de caballos no ha sido incorporada aún, principalmente por razones logísticas, debido a que es necesario un primer transporte de los animales por vía marítima, además, por la fisonomía y vegetación de la ruta. Sin embargo, podría ser incorporada en próximas visitas turísticas a dicha área.

En las áreas de estudio, el daño por pisoteo es más evidente en los tramos rocosos y acarreo con pendientes mayores a 40°, ya que en estas áreas el avance de los visitantes y caballos se hace más dificultoso, debiendo realizar un mayor esfuerzo de tracción para el avance, aumentando el pisoteo en un mismo punto. Además, en estos tramos, las comunidades de musgos y hepáticas son abundantes, otorgando a la superficie características resbaladizas, lo que acentúa la dificultad en el avance. Al respecto, existe evidencia de los cambios que se producen como resultado del pisoteo sobre los diferentes grupos de musgos y hepáticas en islas subantárticas y áreas andinas (Gremmen *et al.* 2003; Barros *et al.* 2013).

- *Introducción y establecimiento de semillas/esporas/propágulos de especies exóticas invasoras (EEI) de flora vascular y no vascular debido al ingreso de visitantes y/o caballos hacia las rutas turísticas JM y PXI*

Las especies exóticas invasoras (EEI) representan una de las amenazas más importantes para la biodiversidad y se consideran uno de los mayores factores de cambio global (PNUD 2017; IPBES 2019). Existe evidencia que en el caso de ecosistemas de montaña que son parte de áreas silvestres protegidas, los

visitantes y caballos pueden ingresar y dispersar semillas, esporas y propágulos vegetativos de forma accidental (Repetto y Cabalin 2015; Fuentes-Lillo y Pauchard 2019); sin embargo, se requieren más estudios para áreas andinas patagónicas, y más aún para áreas cercanas al CHS. En este sentido, la falta de medidas de bioseguridad para los visitantes y caballos que ingresan a los senderos turísticos de ambas áreas de estudio, facilitan la entrada de órganos o estructuras de reproducción de plantas vasculares y no vasculares exóticas a través de todo el gradiente de altitud, dispersándose además desde las inmediaciones de los senderos hacia zonas de uso público adyacentes (ICCH 2016; PNUD 2017; CONAF 2018).

- *Escaso conocimiento de los visitantes, operadores turísticos y comunidades locales sobre la diversidad, amenazas y medidas de conservación de flora no vascular*

En general, existe un escaso conocimiento sobre la diversidad, amenazas y medidas de conservación de las especies de flora no vascular que habitan las áreas cercanas a los glaciares del CHS, incluidas las áreas de estudio, tanto para los visitantes, los operadores turísticos y la comunidad local de Caleta Tortel (región de Aysén) y Puerto Edén (región de Magallanes y de la Antártica Chilena). Ambas localidades son de importancia como centros de tránsito y organización de las actividades de turismo de interés especial que ingresan a los glaciares del CHS. En consecuencia, existe la necesidad de un plan de educación para la conservación enfocada al sector turístico local en relación con la flora no vascular.

#### 4.4.2 Medidas para la conservación de flora no vascular

Con base en la información anterior, se proponen medidas para la conservación que consideran tres acciones que minimizan el impacto de las amenazas directas identificadas, asegurando la viabilidad de las comunidades de especies de flora no vascular. Además, se incorpora una propuesta de indicadores de sustentabilidad. Ambas fueron orientadas en base al modelo de conservación de Salafsky *et al.* (2008). A continuación, se presentan cada una de ellas:

- *Diseño de medidas específicas de prevención y mitigación del pisoteo de visitantes y caballos en los senderos turísticos JM y PXI*

Los senderos son con frecuencia las únicas vías de acceso a las zonas más alejadas que existen al interior de un área silvestre protegida (Tacón y Firmani 2004). En el caso de los senderos turísticos a desarrollar en JM y PXI, estos han sido diseñados para excursiones de intensidad baja a media; sin embargo, su capacidad de carga o nivel de uso público posible de admitir debe ser cuantificada antes de su implementación. En este caso, las comunidades de briófitas deben ser incluidas en el diseño de medidas de prevención. Un adecuado diseño, construcción y mantenimiento de estos puede minimizar los impactos del pisoteo sobre la flora no vascular (y también vascular). A continuación, se detallan medidas específicas para el tránsito de visitantes y caballos:

##### a) Tránsito de visitantes:

a.1) Construcción de obras auxiliares como pasarelas de madera elevadas sobre pilares o escalerines de piedra para evitar el pisoteo en los tramos con una pendiente igual o mayor a 40°, con abundante presencia de musgos y hepáticas a lo largo del gradiente de elevación de los senderos JM y PXI.

a.2) Instalación de señaléticas resistentes a las condiciones climáticas, en sectores específicos de los senderos JM y PXI, que indiquen la presencia de especies de musgos y hepáticas endémicas de importancia para la conservación.

a.3) Uso obligatorio de bastones de trekking para el tránsito como medio de disipación del peso del visitante sobre el sendero.

b) Tránsito de caballos:

b.1) Desincentivar el uso de caballos como medio de porteo de equipos o visitantes por medio de la sensibilización y concientización de los operadores turísticos que los utilizan.

b.2) Uso de porteadores/ras en reemplazo de caballos a partir de un programa de formación profesional para jóvenes locales (Caleta Tortel y Puerto Edén) en técnicas de senderismo y montaña específicos para este fin.

- *Establecimiento de un plan de bioseguridad para el ingreso y tránsito de visitantes y caballos en las rutas turísticas JM y PXI, y sus zonas de uso público*

El objetivo de esta medida es establecer un plan de bioseguridad que permita minimizar el ingreso y potencial establecimiento de órganos o estructuras reproductivas de plantas vasculares y no vasculares exóticas en el área de estudio JM y PXI por parte de los visitantes y caballos. Es importante señalar que el manejo de especies exóticas invasoras requiere de la integración tanto de medidas de prevención (como las señaladas a continuación), como de detección temprana y estrategias de respuesta rápida mediante el empleo de tratamientos manuales, químicos, biológicos, culturales, entre otros, para su control (Teillier y Marticorena 2002; USDA Forest Service 2005; PNUD 2017). Las medidas se detallan a continuación:

a) Bioseguridad para visitantes:

a.1) Identificar las áreas de limpieza donde se implementarán las medidas de bioseguridad, las cuales deberán ser cerradas para evitar la entrada de viento que pueda dispersar el material a remover. Además, contará con un contenedor de residuos vegetales que permita realizar su posterior eliminación final de forma segura.

a.2) Realizar inspección visual y limpieza con escobillas de todas las posibles vías de transporte no intencional de especies exóticas y material vegetal: vestimenta, calzado y equipamiento. Es necesario remover los restos de barro y semillas que pudieran estar adheridos a la suela, cordones, costuras o pliegues del calzado. También bolsillos, costuras y pliegues de la vestimenta, y bolsos o mochilas. Además, se deberá aplicar una solución desinfectante biodegradable, no tóxica ni irritante, sobre toda la superficie del calzado, vestimenta y equipo una vez realizada la limpieza manual, con el objetivo de eliminar la presencia de microorganismos, como bacterias o virus.

a.3) Establecer el uso obligatorio de polainas de montaña de altura media, prenda de vestir deportiva que cubre el calzado, tobillos y parte baja de las piernas, permitiendo protección adicional para evitar ingreso de órganos o estructuras de reproducción de plantas.

b) Bioseguridad para caballos:

b.1) Identificar las áreas de limpieza donde se implementarán las medidas de bioseguridad, las cuales deberán ser cerradas para evitar la entrada de viento que pueda dispersar el material a remover. Además, contará con un contenedor de residuos vegetales que permita realizar su posterior eliminación final de forma segura.

b.2) Realizar inspección visual y limpieza con escobillas de todo el pelaje del animal, con énfasis en pezuñas, extremidades y cola. Una vez terminada la

limpieza, los animales deberán estar libres de tierra, restos biológicos u otros. Además, aplicar una solución desinfectante biodegradable, no tóxica ni irritante, sobre todo el pelaje, pezuñas, extremidades y cola del animal, una vez realizada la limpieza manual, con el objetivo de eliminar la presencia de microorganismos, como bacterias o virus.

- *Aumentar el conocimiento de las comunidades locales, operadores turísticos y los visitantes, sobre la diversidad, amenazas y medidas de conservación de flora no vascular en el área de estudio*

El objetivo de esta medida es mejorar el conocimiento de las comunidades locales, operadores turísticos y los visitantes, sobre la diversidad, amenazas y medidas de conservación de flora no vascular, a través de un plan de educación ambiental, que permita sensibilizar y concientizar sobre la importancia de este grupo de plantas. Para ello se propone realizar las siguientes actividades:

- a) Charlas abiertas a la comunidad local y establecimientos educacionales en las localidades de Caleta Tortel (región de Aysén) y Puerto Edén (región de Magallanes y de la Antártica Chilena), sobre la diversidad de flora no vascular y medidas de bioseguridad, señalando el protocolo de desinfección personal necesario para el ingreso a los senderos turísticos JM y PXI.
- b) Realizar capacitaciones a los operadores turísticos locales en temáticas de diversidad de flora no vascular y medidas de bioseguridad que puedan aplicarse tanto para visitantes como para animales de transporte.
- c) Realizar charlas de inducción para visitantes, en forma previa al ingreso a las rutas turísticas JM y PXI, sobre la diversidad de flora no vascular, los impactos de la presencia humana en los hábitats que ésta ocupa, el ingreso de especies exóticas invasoras y el tránsito de caballos.
- d) Diseño e implementación de sistemas de interpretación patrimonial que permitan la valoración de la diversidad y conservación de la flora no vascular en

las rutas turísticas JM y PXI. Para ello se deben elaborar, en lenguaje sencillo, paneles informativos, trípticos y audioguías sobre la importancia de conservar este grupo de plantas. El material deberá estar disponible en formato impreso y digital descargable, y deberá ser entregado a la comunidad local, operadores turísticos y visitantes.

3e) Realizar capacitaciones sobre taxonomía de flora no vascular a personal de CONAF para la implementación de un monitoreo a largo plazo en base a los indicadores de sustentabilidad propuestos (ver más adelante).

f) Informar a los actores locales y regionales involucrados en la implementación de áreas protegidas, de la situación actual de conservación de flora no vascular en la zona del CHS.

- *Propuesta de indicadores de sustentabilidad para especies de flora no vascular*

Un indicador de sustentabilidad basado en flora y vegetación es una herramienta diseñada para evaluar, estimar o demostrar el cambio o impacto sobre comunidades de plantas que han sido identificadas como objetos de conservación frente a perturbaciones antrópicas (De la Maza *et al.* 2014). En este sentido, el uso de indicadores de sustentabilidad en tramos específicos de las rutas turísticas JM y PXI en desarrollo, permitirá monitorear el efecto del tránsito de los visitantes y/o caballos sobre las especies de plantas no vasculares identificadas a partir de la caracterización florística, relacionando diferentes señales o marcas dejadas por los visitantes y caballos en los senderos como indicación de cambio antropogénico (pisadas, deformaciones en las colonias de plantas, desprendimientos de suelo y rocas con plantas, compactación, erosión y aumento en la incisión del sendero), señales observables a ojo desnudo en mayor o menor grado, dependiendo del nivel de uso de los senderos. La posibilidad de monitorear anualmente otorga tiempo suficiente para que dichas señales biofísicas queden en el terreno para su identificación oportuna, siendo distintas de las señales dejadas por el proceso de sucesión, las que acontecen a mayor escala o magnitud, como remociones en



masa, formación de acarreos, caídas de árboles, desprendimientos de rocas y piedras, entre otros (observaciones de campo). En base a lo anterior y en el contexto del presente estudio, se desarrolló una propuesta de tres indicadores de sustentabilidad que pueden ser aplicados a flora no vascular, a partir de los trabajos de Söderström y Gunnarsson (2003) y De la Maza *et al.* (2014). Los indicadores mencionados a continuación pueden ser aplicados en todo tipo de formaciones vegetacionales como bosques, matorrales, praderas y zonas de vegetación escasa, estas últimas, muy presentes entre los 200 y 850 msnm en JM, y entre 700 y 1150 msnm en PXI. Además, se recomienda planificar el monitoreo para primavera-verano, entre los meses de octubre a marzo, con una duración de al menos tres a siete años (De la Maza *et al.* 2014).

- Indicador I: cambio de cobertura por tipo biológico (CC-TB)

Evalúa el cambio en el tiempo de la cobertura según los distintos tipos biológicos, señalando cómo se altera la proporción de estos por el efecto del tránsito de los visitantes y/o caballos. Para el presente estudio se consideraron los tipos biológicos arbusto (Ab), herbáceo (Hc) y no fanerófito (Nf), este último correspondiendo a musgos y hepáticas. Para ello se debe realizar el monitoreo de flora en tramos específicos de los senderos turísticos implementados en JM y PXI, consignando la cobertura del tipo biológico Nf respecto a los demás (ver Anexo 2). Los puntos de muestreo y/o monitoreo serán ubicados de forma permanente en tramos específicos de los senderos que presenten mayor cobertura de flora no vascular y considerando los distintos niveles de altitud (200, 400, 600, 800 y 1000 msnm, respectivamente) (ver Anexo 2).

- *Indicador II: cambio de la presencia y/o cobertura por especie según origen geográfico (P/A-OG)*

Evalúa el cambio en la presencia y/o cobertura de las especies (no vasculares y vasculares) según su origen geográfico (ver Anexo 2). Permite determinar en qué

medida los visitantes y/o caballos posibilitan la invasión y proliferación de plantas exóticas en las formaciones vegetales nativas de un área silvestre. En este contexto, se ha señalado que 29 especies de plantas no vasculares se consideran invasoras en Chile (PNUD 2017), de las cuales 20 de ellas tienen una alta probabilidad de ingresar y establecerse en áreas subantárticas debido a sus características biológicas y ecológicas. En el caso de especies vasculares exóticas existen antecedentes que mencionan la presencia de éstas en áreas cercanas a glaciares de Aysén y Magallanes (Teillier y Marticorena 2002; García y Luebert 2008), las que podrían ingresar a las áreas estudiadas y modificar gradualmente el sustrato disponible para las briofitas que habitan sobre o entre plantas vasculares nativas.

- Indicador III: tiempo de vida de la colonia (TVC)

En general, las especies briófitas crecen formando colonias, es decir, asociaciones de gametofitos que se organizan en diferentes formas de vida. El tiempo de vida de una colonia es el tiempo desde que esta se establece hasta su pérdida total. Este indicador representa una aproximación al monitoreo de especies de briófitas permitiendo conocer el porcentaje de crecimiento de la colonia en el tiempo ( $t_1$  a  $t_n$ ) y como este se relaciona con el tránsito de visitantes y/o caballos, y el ingreso de especies exóticas (Söderström y Gunnarsson 2003). Esto tiene relevancia en especies de lento crecimiento (especies de ambientes fríos o subantárticas), donde las intervenciones antrópicas pueden favorecer su declinación. En este indicador se evaluará el crecimiento de las especies indicadoras más conspicuas obtenidas del análisis ISA. En el área JM se evaluarán las especies de hepáticas *Adelanthus lindenbergianus* y *Syzygiella colorata*, y en PXI los musgos *Ditrichum* cf. *cylindricarpum*, *Dicranoloma robustum*, *Conostomum pentastichum* y *Racomitrium didymum* (ver Anexo 2).

## 5. DISCUSIONES

Los resultados florísticos del presente estudio constituyen una primera contribución sobre la presencia de especies de flora no vascular en áreas cercanas a los glaciares Jorge Montt y Pío XI, complementando con ello el conocimiento de la flora cercana a los glaciares del Campo de Hielo Sur, incluyendo zonas sobre los 800 msnm (Dusén 1906; Cardot 1908; Stephani 1911; Skottsberg 1916; Donat 1936; Seki 1974; García y Luebert 2008; Silva *et al.* 2008; Hässel de Menéndez y Rubies 2009; Müller 2009; Vela-Ruiz *et al.* 2011, Larraín 2016; Luebert y Pliscoff 2017). En relación con el área JM, zona descrita con alta riqueza de especies de plantas vasculares (Vela-Ruiz *et al.* 2011; CONAF 2018), este estudio complementa los escasos registros de flora no vascular de áreas cercanas a los glaciares de la región de Aysén, los cuales incluyen estudios en zonas del Campo de Hielo Norte (Monte San Valentín), y áreas adyacentes a los glaciares O'Higgins y Mosco en el Campo de Hielo Sur (Donat 1936; Seki 1974, García y Luebert 2008, Larraín 2016). Respecto a los elementos florísticos registrados, la presencia de musgos de las familias Andreaeaceae Dumort. y Grimmiaceae Arn. es coincidente con trabajos previos en áreas andinas subantárticas y antárticas (Ochyra *et al.* 2008; Méndez *et al.* 2013), mientras que, en las hepáticas, se registraron familias vinculadas a bosques templados de *Nothofagus* (Lepidoziaceae Limpr., Lepidolaenaceae Nakai y Pseudolepicoleaceae Fulford & J. Taylor), lo cual ha sido previamente documentado para latitudes de 51-52°S en la región de Magallanes en la Transecta Botánica de la Patagonia Austral (Hässel de Menéndez y Solari 1985). En el caso del área PXI no existen antecedentes florísticos previos para flora vascular y no vascular, existiendo solo descripciones generales sobre la vegetación boscosa de áreas andinas del extremo norte de la región de Magallanes, pero que no incluyen flora no vascular, a excepción de la mención del género *Sphagnum* (Pisano 1978; Moore 1983; Dollenz 1991; Henríquez *et al.* 1995; Pisano 1997; Domínguez *et al.* 1999; Charlín 2006; Dollenz *et al.* 2012). La flora no vascular registrada en esta área presenta familias de musgos características de áreas andinas subantárticas como

Andreaeaceae Dumort., Bryaceae Schwägr., Dicranaceae Schimp., Grimmiaceae Arn., Leucobryaceae Schimp., Polytrichaceae Schwägr. (Seki 1974; Schiavonne 1993; Muñoz 1999; Klazenga 2003; Ochyra *et al.* 2008), y hepáticas de las familias Lejeuneaceae Cavers, Frullaniaceae Lorch y Lepidolaenaceae Nakai, todas asociadas a un mosaico de vegetación arbustiva, herbácea y de turberas de niveles medios de altitud (400-700 msnm), como también del herbazal de altitud y zonas sin plantas vasculares.

Al igual que para el área de estudio JM, varias familias de musgos y hepáticas han sido documentadas para latitudes más australes de la región de Magallanes (Hässel de Menéndez 1972; Hässel de Menéndez y Solari 1975; Hässel de Menéndez y Solari 1985; Hässel de Menéndez 2001). En ambas áreas de estudio, un porcentaje de ejemplares aún está determinado solo a nivel de género, por lo que en la actualidad su diagnosis taxonómica está siendo trabajada con el apoyo de especialistas en flora no vascular subantártica (R. Ochyra y H. Ochyra).

Respecto a las morfologías de los gametofitos registradas en ambas áreas de estudio, donde hay una predominancia de musgos acrocarpos (de crecimiento vertical y poco ramificado), y de hepáticas foliosas, algunos estudios han reportado patrones de abundancia contrastantes en musgos acrocarpos y pleurocarpos con diferentes proximidades a los senderos turísticos en la isla subantártica Marion (Sudáfrica), donde el pisoteo redujo la cobertura de la mayoría de las especies de musgos y hepáticas estudiadas (Gremmen *et al.* 2003; Barros *et al.* 2013). Esto se relaciona directamente con las amenazas identificadas para ambas áreas de estudio, donde el pisoteo por parte del tránsito de turistas y/o caballos puede causar variaciones en la presencia y abundancia de los diferentes grupos de flora no vascular (Moyle 1980; Farrell y Marion 2002; Gremmen *et al.* 2003; Pickering y Hill 2007; Pickering *et al.* 2010; Barros *et al.* 2013; Hodgetts *et al.* 2019). Estos impactos negativos pueden minimizarse con algunas de las medidas de conservación propuestas para ambos senderos, como es el uso de bastones de trekking y la instalación de pasarelas elevadas sobre pilares de

madera o escalerines de piedra en los tramos con abundante presencia de musgos y hepáticas en pendientes iguales o mayores a 40°.

En relación a la diversidad de formas de vida (FV) determinadas para el área JM, se espera que estas varíen de forma natural en los próximos años debido a los cambios de las condiciones de micro relieve, disponibilidad de agua, aporte de material rocoso, sedimentos y remociones en masa, perturbaciones que son parte del proceso de sucesión primaria y secundaria que acontece debido al distanciamiento del frente del glaciar Jorge Montt durante los últimos 50 años, proceso que continua desarrollándose al presente (Rivera *et al.* 2012b; ICCH 2016; Glime 2017). En este sentido, se espera que los indicadores de sustentabilidad propuestos en las medidas de conservación, específicamente, el cambio de cobertura por tipo biológico (no fanerófito) y origen geográfico permitan diferenciar aquellos cambios relacionados a intervenciones antrópicas de los ocurridos por la sucesión natural del área en monitoreo (Pauchard *et al.* 2009; De la Maza *et al.* 2014; CONAF 2018; Hodgetts 2019). En el caso del área PXI y a diferencia de JM, las formas de vida debieran mantenerse sin mayores cambios debido a que el avance del glaciar Pío XI no genera aporte de material rocoso, sedimentos y remociones en masa desde laderas de mayor altitud, siendo en general, un área más estable, la cual posee una cobertura de bosque siempreverde de *Nothofagus* en gran parte del gradiente estudiado (ICCH 2016), donde la sucesión de la vegetación ha llegado a un clímax. Esta condición ambiental particular del área PXI nos permitirá conocer más claramente cambios sobre el tipo biológico no fanerófito y del origen geográfico de las especies debido al pisoteo producido por el tránsito de personas y/o caballos. Al respecto es importante mencionar que cambios en las formas de vida dominantes de musgos y hepáticas, y sus interacciones, afectan la capacidad de estos para almacenar agua, disminuyendo la humedad en el suelo, alterando con ello el consecuente ciclo del carbono y nitrógeno, fenómeno que se verá incrementado por el emergente calentamiento y disminución de las precipitaciones previstas para la

zona andina de las regiones de Aysén y Magallanes (Luebert y Pliscoff 2017; Deane-Coe y Stanton 2017; Oishi 2018).

En referencia a los patrones de distribución geográfica global, el elemento endémico predomina en ambas áreas de estudio, siendo las hepáticas las que más contribuyen a dicha categoría. En los patrones de distribución geográfica en Chile (PDCh), dominan las especies valdivianas, nord patagónicas y subantárticas (VNS), algunas de ellas compartidas con áreas andinas de la zona central, el Archipiélago de Juan Fernández, Tierra del Fuego y Península Antártica. Sin embargo, la mayor parte de los registros que se revisaron en la literatura y bases de datos digitales (GBIF, Missouri Botanical Garden y Briófitas del Cabo de Hornos), están basados en ejemplares de herbarios de Europa y USA, los cuales son de carácter histórico (Hässel de Menéndez y Rubies 2009; Müller 2009). Sumado a lo anterior, la falta de registros actuales para varias especies determinadas plantea la necesidad de aumentar el esfuerzo de muestreo de flora no vascular en zonas cercanas a los Campos de Hielo que permitan complementar estos resultados y evaluar hipótesis biogeográficas (Larraín 2016). Esto es relevante debido a que en la actualidad se están llevando a cabo estudios monográficos sobre flora subantártica a nivel global de varias familias que también están presentes en Chile (R. Ochyra, comunicación personal, diciembre 2019).

Los análisis de conglomerado y ordenación considerando las variables ambientales (altitud, porcentaje de cobertura de piedras y rocas, y de vegetación de flora vascular) muestran asociaciones de musgos y hepáticas que en el área JM están explicadas mayormente por la altitud. Este agrupamiento también se relaciona a la presencia de diferentes pisos de vegetación en el gradiente estudiado, a la influencia de la sucesión primaria y secundaria que acontece debido a la dinámica de retroceso del frente del glaciar Jorge Montt y por las condiciones climáticas más frías en mayores altitudes (700-850 msnm) respecto de los niveles inferiores (400-200 msnm). En el área PXI, tres de los cinco grupos de parcelas obtenidos en el análisis de agrupamiento están explicados por las

variables ambientales anteriormente mencionadas. El grupo 1 en particular se explica por la altitud y el porcentaje de cobertura de piedras y rocas, donde predominan especies saxícolas o que colonizan microhabitats rocosos, típicas de estados sucesionales primarios, muy próximos al *plateau* del glaciar Pío XI. Los grupos 4 y 5 de esta área de estudio, están explicados por la cobertura de vegetación vascular donde hay presencia de especies que crecen entre y sobre plantas acojinadas (*Bolax gummifera* y *Oreobolus obtusangulus*) y herbáceas, como helechos y licopodios. No obstante, para consolidar aún más estos primeros análisis exploratorios de agrupamiento y ordenación de especies en ambos gradientes de altitud, se hace necesario complementar con un número mayor de parcelas, situación que será prevista en futuros trabajos de campo para ambas áreas de estudio.

Con respecto al análisis de especies indicadoras (ISA), si bien para cada área de estudio se pudo identificar entre tres (JM) y nueve especies (PXI) respectivamente, algunas de ellas podrían representar dificultades prácticas en el caso de ser utilizadas en el indicador de sustentabilidad III (tiempo de vida de la colonia, TVC) debido a su pequeño tamaño y difícil reconocimiento en campo por parte de personal no especialista, especialmente en las hepáticas (*Adelanthus lindenbergianus*, *Diplophyllum recurvifolium* y *Telaranea* sp.), por lo que es necesario contemplar capacitaciones taxonómicas básicas al personal de CONAF que participará en futuros trabajos de monitoreo para su correcto uso y toma de datos.

Finalmente, el estudio y monitoreo de especies de musgos y hepáticas en el sector norte del Campo de Hielo Sur, al interior del Parque Nacional Bernardo O'Higgins (PNBO), el tercero más extenso a nivel global y el más extenso de Chile, debiera ser considerado en los próximos años debido a que estos grupos de plantas son indicadoras de hábitats o ecosistemas climáticamente sensibles sobre todo en este territorio de alta pristinidad, considerados como bosques de frontera en Sudamérica austral (Sanderson *et al.* 2002; Brooks *et al.* 2006; SUBTURISMO

2017; Aravena *et al.* 2018). Dicho rol como bioindicadoras está muy bien documentado en ecosistemas boscosos y en turberas, propiedad que podrían desempeñar de manera análoga en estos ambientes cercanos a los glaciares, principalmente en áreas de uso público y senderos turísticos donde el tránsito de visitantes y/o caballos puede afectar la presencia y cobertura de las diferentes especies (Gignac 2001; Gremmen *et al.* 2003; Frego 2007; Jägerbrand *et al.* 2011; Promis *et al.* 2012; Barros *et al.* 2013; Oishi 2018). Además, desde el punto de vista del turismo sustentable, estos grupos de plantas pueden transformarse en un elemento de conservación fundamental a través de la implementación del concepto de “turismo con lupa” (Rozzi *et al.* 2008) en ambas rutas o senderos turísticos a desarrollar, ya que es en estos lugares de tránsito donde los visitantes se conectan con la naturaleza, concepto que vinculado a las medidas de conservación y los indicadores de sustentabilidad propuestos, permitirá que los estudios taxonómicos y consecuentes trabajos florísticos sobre briófitas apoyen con nuevo conocimiento el uso sustentable del patrimonio natural, complementando las estrategias de manejo sobre flora y vegetación al interior de las áreas silvestres protegidas.



## 6. CONCLUSIONES

1. La caracterización florística de briófitas en dos áreas proglaciares del tercio norte de CHS (sitios JM y PXI) muestra la predominancia de hepáticas foliosas y musgos acrocarpos para ambos sitios de estudio (JM y PXI), especies que se asocian en el gradiente de elevación (entre los 200 y 1100 m s.n.m.), siendo las variables altitud y cobertura de flora vascular las que mejor explican dichas asociaciones. En este mismo sentido, el retroceso del frente del glaciar Jorge Montt (JM), en el sitio de estudio homónimo, ha tenido y tiene una mayor influencia en el proceso sucesional de la vegetación, en comparación a la influencia que ejerce la masa de hielo en el sitio PXI.
2. Desde el punto de vista del origen geográfico de las especies, las hepáticas foliosas exhiben un importante endemismo (53% JM y 49% PXI), distribuyéndose solo en el sur de Sudamérica (40° LS), Archipiélago de Juan Fernández, Islas Malvinas y Georgias del Sur, por lo que son de interés particular para el desarrollo de las medidas de conservación propuestas.
3. En relación al análisis de indicador de especies (ISA), si bien las 12 especies propuestas (tres especies para el sitio JM y nueve para PXI) poseen alto valores (entre el 66 y 100%), algunas deberán ser re evaluadas para su utilización como “especie indicadora” por representar taxones de muy pequeño tamaño (crípticos, solo milímetros de longitud), difíciles de identificar en campo por parte de personal de apoyo y de evaluar a través de los indicadores I y III.

4. El desarrollo de las rutas turísticas asociadas a los sitios de estudio JM y PXI deben considerar en su implementación los resultados de la presente caracterización de flora no vascular, sus amenazas antropogénicas y medidas de conservación propuestas. Esto responde a la necesidad de generar una estrategia de conservación proactiva, enfatizando aspectos de irremplazabilidad y vulnerabilidad de las áreas cercanas a los glaciares del CHS en un escenario de cambio climático, crisis de biodiversidad y aumento de la conectividad al interior de áreas silvestres protegidas subantárticas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ALSOS I. G., WARE C. y ELVEN R. 2015. Past Arctic aliens have passed away, current ones may stay. *Biological Invasions* 17: 3113-3123.

ANIYA M., SATO H., NARUSE R., SKVARCA P. y CASASSA G. 1997. Recent Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America. *Arctic and Alpine Research* 29: 1-12.

ARAVENA J.C., VELA-RUIZ G., TORRES J., HUENUCOY C. y TONKO J.C. 2018. Parque Nacional Bernardo O'Higgins/territorio kawésqar waes: Conservación y gestión en un territorio ancestral. *Magallania* 46(1): 49-63.

ARRÓNIZ-CRESPO M., PÉREZ-ORTEGA S., DE LOS RÍOS A., ALLAN GREEN T.G., OCHOA-HUESO R., CASERMEIRO M.A., DE LA CRUZ M.T., PINTADO A., PALACIOS D.,

ARROYO M.T.K., VON BOHLEN C., CAVIERES L. y MARTICORENA C. 1992. Survey of the alpine flora of Torres del Paine National Park, Chile. *Gayana Botanica* 49: 47-70.

BARROS A., GONNET J. y PICKERING C. 2013. Impacts of informal trails on vegetation and soils in the highest protected area in the Southern Hemisphere. *Journal of Environmental Management* 127: 50-60.

BATES J.W. 1998. Is 'life-form' a useful concept in bryophyte ecology? *Oikos* 82: 223-237.

BENAVIDES J. y SASTRE DE JESÚS I. 2009. Digitized Images Provide More Accuracy and Efficiency to Estimate Bryophyte Cover. *The Bryologist* 112(1):12-18.

BERG C., SCHWAGER P., PÖRTL M. y DENGLER J. 2016. Plot Sizes Used for Phytosociological Sampling of Bryophyte and Lichen Micro-Communities. *Herzogia* 29 (2): 654-667.

BROOKS T., MITTERMEIER R., DA FONSECA G., GERLACH J., HOFFMANN M., LAMOREUX J., MITTERMEIER C., PILGRIM J., RODRIGUES A. 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313(5783):58-61.

BUCK W.R. 2002. Preliminary key to the mosses of Isla Navarino, Chile (Prov. Antarctica Chilena). Bronx, NY, Published by the author. 147p.

CARDOT J. 1908. La flora bryologique des Terres magellaniques, de la Géorgie du Sud et de l'Antarctide. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar-Expedition 1901-1903* 4(8): 1-298, + 11 plates.

CONAF. 2013. CONAF en las Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Conservando la Flora y Fauna Amenazada. Cunazza C., Grimberg M. y De La Maza M. (Eds). Santiago, Chile. 150p.

CONAF. 2018. Plan de Uso Público del Parque Nacional Bernardo O'Higgins. Sectores de la Región de Aysén. 104p.

CONVEY P. 2011. Antarctic terrestrial biodiversity in a changing world. *Polar Biology* 34: 1629-1641.

CHARLÍN R. 2006. Confección de herbario en el sector fiordo Témpano, Parque Nacional Bernardo O'Higgins. Informe CONAF. 9p.

CRANDALL-STOTLER B., STOTLER R.E. y LONG D.G. 2009. Morphology and classification of the Marchantiophyta. En: GOFFINET B. y SHAW A.J. (Eds.). *Bryophyte Biology*. Cambridge, Cambridge University Press. 1-54 p.

CUVERTINO J., ARDILES V., OSORIO F. y ROMERO X. 2012. New records and additions to the Chilean bryophyte flora. *Ciencia e Investigación Agraria* 39(2): 245–254.

D'AMICO M.E., FREPPAZ M., FILIPPA G. y ZANINI E. 2014 Vegetation influence on soil formation rate in a proglacial chronosequence (Lys Glacier, NW Italian Alps). *Catena* 113: 122-137.

DEANE-COE K.K y STANTON D. 2017. Functional ecology of cryptogams: scaling from bryophyte, lichen, and soil crust traits to ecosystem processes. *New Phytologist* 213(3): 988-992.

DE LA CRUZ R., WELKNER D., SUÁREZ M. y QUIROZ D. 2004. Geología del Área Oriental de las Hojas Cochrane y Villa O'Higgins, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 85. 57p.

DE LA MAZA C., CERDA C., CRUZ G., MANCILLA G., FUENTES J., ESTADES C.F., MEDRANO F., ALISTE E. y PIROSKA A. 2014. Manual para aplicar indicadores de sustentabilidad en áreas protegidas. *Ámbito biofísico*. 109p.

DOLLENZ O. 1991. Sucesión vegetal en el sistema morrénico del glaciar Dickson, Magallanes, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 20(1): 49-60.

DOLLENZ O., HENRIQUEZ J. y DOMÍNGUEZ E. 2012. La vegetación de las geoformas proglaciares en los glaciares Balmaceda, Tyndall, Taraba y Ema, Magallanes, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 40(2): 7-17.

DOMÍNGUEZ E., PISANO E. y DOLLENZ O. 1999. Colonización vegetal en el área periglaciaria del glaciar Nueva Zelandia, Cordillera Darwin de Tierra del Fuego, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 27: 7-16.

DONAT A. 1936. Resultados fitogeográficos de la expedición patagónica "Gaea" 1933. I. Algunas briófitas nuevas de la Cordillera Central Patagónica. *Revista Sudamericana de Botánica* 3(3): 61-68.

DUFRENE M. y LEGENDRE P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.

DUSÉN P. 1906. Beitrage zur Bryologie der Magellanslander von Westpatagonien und Sudchile. V. *Arkiv för Botanik utgivet av K. Svenska Vetenskaps-Akademien* 6(10): 1-32 + 6 plates.

ENGEL J.J. 1978. A taxonomic and phytogeographic study of Brunswick Peninsula (Strait of Magellan) Hepaticae and Anthocerotae. *Fieldiana: Botany* 41: 1-319.

ENGEL J.J. y GLENNY D.S. 2008. A flora of the liverworts and hornworts of New Zealand, Volume 1. St. Louis, Missouri Botanical Garden. 897p.

EVANS A.W. 1921. The genus *Riccardia* in Chile. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 25(2): 93-209.

EVANS A.W. 1923. The Chilean species of *Metzgeria*. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 58(7): 271-324.

FARRELL T.A. y MARION J.L. 2002. Trail impacts and trail impact management related to visitation al Torres del Paine National Park, Chile. *Leisure/Loisir*, Vol 26 (1-2): 31-59.

FREGO K. 2007. Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management* 242: 65-75.

FUENTES-LILLO E. y PAUCHARD A. 2019. Invasiones en montañas: ¿Cuánto hemos avanzado en los últimos 10 años y cuáles son los desafíos para los ecosistemas de los Andes? *Gayana Botánica* 76(2): 141-155.

FULFORD M. 1966. Manual of the leafy hepaticae of Latin America II. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 11(2): 173-276.

FULFORD M. 1976. Manual of the leafy hepaticae of Latin America IV. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 11(4): 395-535.

GARCÍA N. y LUEBERT F. 2008. Aporte al conocimiento de la flora y la vegetación del río Mosco, Villa O'Higgins, ~ 48° S (Región de Aysén, Chile). *Chloris Chilensis* Año 11: N° 2. URL: <http://www.chlorischile.cl>

GARREAUD R., LOPEZ P., MINVIELLE M. y ROJAS M. 2013. Large-Scale Control on the Patagonian Climate, *Journal of Climate* 26(1): 215–230.

GIGNAC D. 2001. Bryophytes as indicators of climate change. *The Bryologist* 104: 410-420.

GLIME J.M. 2013. Adaptive Strategies: Growth and Life Forms. En: GLIME J.M. *Bryophyte Ecology. Volume 1: Physiological Ecology*. Chapt. 4-5.

GLIME J.M. 2017. Adaptive Strategies: Growth and Life Forms. In: Glime, J. M. (ed.), *Bryophyte Ecology. Volume 1, Chapter 4-5*, Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. URL: <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>

GLIME J. M. y WAGNER D. H. 2017. Herbarium Methods and Exchanges. Chapt. 3-1. In: Glime J. M. *Bryophyte Ecology. 3-1-1. Volume 3. Methods*. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Ebook last updated 18 October 2017 and available at <<http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>>.

GOFFINET B., BUCK W.R. y SHAW A.J. 2008. Morphology and classification of the Bryophyta. En: GOFFINET B. y SHAW A.J. (Eds.). *Bryophyte Biology*. Cambridge, Cambridge University Press. 55-138p.

GRANDSTEIN S.R., CHURCHILL S.P. y SALAZAR-ALLEN N. 2001 *Guide to the Bryophytes of Tropical America*. New York, N.Y. Botanical Garden. 577p.

GREMMEN N.J.M., SMITH V.R. y VAN TONGEREN O.F.R. 2003. Impact of Trampling on the Vegetation of Subantarctic Marion Island. *Journal Arctic, Antarctic and Alpine Research* 35 (4): 442–446.

HALLINGBÄCK T. y HODGETTS N. 2000. Mosses, Liverworts, and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SSC Bryophyte Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. x + 106p.

HALLINGBÄCK T. y TAN B. 2010. Past and present activities and future strategy of bryophyte conservation. *Phytotaxa* 9: 266-274.

HASSEL DE MENÉNDEZ G.G. 1962 "1963 ". Estudio de las Anthocerotales y Marchantiales de la Argentina. *Opera Lilloana* 7: 1-297.

HÄSSEL DE MENÉNDEZ G.G. 1972. Revisión taxonómica del género *Riccardia* (Hepaticae). Especies andinopatagonias y subantárticas incluyendo las Islas Juan

Fernández, Malvinas, Georgias del Sur. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" e Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales: Ciencias Botánicas 4(1): 1-242.

HÄSSEL DE MENÉNDEZ G.G. 2001. Revision of the genus *Leptoscyphus* Mitt. (Hepatophyta) from southern South America. Journal of the Hattori Botanical Laboratory 91: 205-227.

HÄSSEL DE MENÉNDEZ G.G. y SOLARI S.S. 1975. Bryophyta Hepaticopsida: Calobryales, Jungermanniales: Vetaformaceae, Balantiopsidaceae. En: GAMUNDI DE AMOS, I., RABINOVICH DE HALPERIN, D. (Eds.). Flora Criptogámica de Tierra del Fuego. 15, Fasc. 1. Buenos Aires, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 7-181pp.

HÄSSEL DE MENÉNDEZ G.G. y SOLARI S. 1985. Catálogo de las Hepáticas. En: Boelcke O. Moore D.M. y Roig F.A (Eds.). Transecta Botánica de la Patagonia Austral. Buenos Aires, CONICET. 299-342p.

HÄSSEL DE MENÉNDEZ G.G. y RUBIES M.F. 2009. Catalogue of Marchantiophyta and Anthocerotophyta of southern South America. Nova Hedwigia 134: 1-672.

HEDENÄS L. 2003. Amblystegiaceae (Musci). Flora Neotropica 89. Organization for Flora Neotropica by The New York Botanical Garden, New York, 1–108.

HENRÍQUEZ J.M., PISANO E. y MARTICORENA C. 1995. Catálogo de la flora vascular de Magallanes, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia 23: 5-30.

HODKINSON I.D., COULSON S.J., WEBB N.R. 2003 Community assembly along proglacial chronosequences in the high Arctic: vegetation and soil development in north-west Svalbard. Journal of Ecology 914: 651–663.

HODGETTS N., CÁLIX M., ENGLEFIELD E., FETTES N., GARCÍA CRIADO M., PATIN L., NIETO A., BERGAMINI A., BISANG I., BAIŠEVA E., CAMPISI P., COGONI A., HALLINGBÄCK T., KONSTANTINOVA N., LOCKHART N., SABOVLJEVIĆ M., SCHNYDER N., SCHRÖCK C., SÉRGIO C., SIM SIM M., VRBA J., FERREIRA C.C., AFONINA O., BLOCKEEL T., BLOM H., CASPARI S., GABRIEL R., GARCIA C., GARILLETI R., GONZÁLEZ MANCEBO J., GOLDBERG I., HEDENÄS L., HOLYOAK D., HUGONNOT V., HUTTUNEN S., IGNATOV M., IGNATOVA E., INFANTE M., JUUTINEN R., KIEBACHER T., KÖCKINGER H., KUČERA J., LÖNNELL N., LÜTH M., MARTINS A., MASLOVSKY O., PAPP B., PORLEY R., ROTHERO G., SÖDERSTRÖM L., ȘTEFĂNUȚ S., SYRJÄNEN K., UNTEREINER A., VÁŇA J. †, VANDERPOORTEN A., VELLAK K., ALEFFI M., BATES J., BELL N., BRUGUÉS M., CRONBERG N., DENYER J., DUCKETT J., DURING H.J., ENROTH J., FEDOSOV V., FLATBERG K.I., GANEVA A., GORSKI P., GUNNARSSON U., HASSEL K., HESPANHOL H., HILL M., HODD R., HYLANDER K., INGERPUU N., LAAKA-LINDBERG S., LARA F., MAZIMPAKA V., MEŽAKA A., MÜLLER F., ORGAZ J.D., PATIÑO J., PILKINGTON S., PUCHE F.,

ROS R.M., RUMSEY F., SEGARRA-MORAGUES J.G., SENECA A., STEBEL A., VIRTANEN R., WEIBULL H., WILBRAHAM J. y ŽARNOWIEC J. 2019. A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts. Brussels, Belgium: IUCN.

ICCH. 2016. Informe interno Instituto Chileno de Campos de Hielo. Santiago, Chile. 149p.

IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

ITURRASPE R.J. y STRELIN J.A. 2002. Dinámica de procesos y geoformas vinculadas al retroceso del glaciar O'Higgins - Campo de Hielo P Sur, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia 30: 13-24.

JÄGERBRAND A.K., BJÖRK R.G., CALLAGHAN T. y SEPPELT R.D. 2011. Alpine, Arctic and Antarctic Ecosystems 211-236. En: Bryophyte Ecology and Climate Change. Tuba Z., Slack N.G y Stark L.R. Cambridge University press. 506p.

KLAZENGA N. 2003. A revision of the Australasian species of *Dicranoloma* (Bryophyta, Dicranaceae). Australian Systematic Botany 16(4): 427–471. doi: 10.1071/SB02032

LARRAÍN J. 2016. The mosses (Bryophyta) of Capitán Prat Province, Aisén Region, southern Chile. PhytoKeys 68: 91-116.

LARRAÍN J. 2007. Musgos (Bryophyta) de la Estación Biológica Senda Darwin, Ancud, Isla de Chiloé, Chile. Claves para su identificación y lista de especies. 19 p.

LEÓN C.A., OLIVÁN G., LARRAÍN J., VARGAS R. y FUERTES E. 2014. Bryophytes and lichens in peatlands and *Tepualia stipularis* swamp forests of Isla Grande de Chiloé (Chile). Anales del Jardín Botánico de Madrid 71(1):e003 2014. <http://dx.doi.org/10.3989/ajbm.2342>

LEUNG Y.F., SPENCELEY A., HVENEGAARD G. y BUCKLEY R. (EDS.) 2019. Gestión del turismo y de los visitantes en áreas protegidas: directrices para la sostenibilidad. Serie Directrices sobre Buenas Prácticas en Áreas Protegidas no. 27, Gland, Suiza: UICN. xii +120 pp.



LUEBERT F. y PLISCOFF P. 2017. Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Santiago, Editorial Universitaria. 381p.

MARGULES C. R. y PRESSEY R. L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405(6783): 243-253.

MATTERI C.M. 1985. Bryophyta, Musci: Bartramiaceae. *Flora Criptogámica de Tierra del Fuego* 14(7): 1-62.

MCCUNE B. y GRACE J.B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM software design Gleneden Beach. Oregon. 300p.

MCCUNE B. y MEFFORD M. 2011. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.08 MjM Software. MjM software design. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

MCCUNE B. y MEFFORD M. 2015. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

MÉNDEZ M., ROZZI R. y CAVIERES L. 2013. Flora vascular y musgos en la zona altoandina de la Isla Navarino (55°S), Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, Chile. *Gayana Botánica* 70(2): 337-343.

MOORE D. 1983. *Flora of Tierra del Fuego*. Anthony Nelson, England, Missouri Botanical Garden, USA.

MOYLE S. 1980. Trampling Effects on Bryophytes: Trail Surveys and Experiments. *The Bryologist* 83(3): 301-313.

MUÑOZ J. 1999. A revision of *Grimmia* (Musci, Grimmiaceae) in the Americas. 1: Latin America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 86(1): 118–191. doi: 10.2307/2666219

MÜLLER F. 2009. An updated checklist of the mosses of Chile. *Archive for Bryology* 58: 1-124.

OCHI H. 1970. A revision of the subfamily Bryoideae in Australia, Tasmania, New Zealand and adjacent islands. *The Journal of the Faculty of Education, Tottori University, Natural Sciences* 21: 7–67.

OCHI H. 1982. A revision of the Bryoideae (Musci) in southern South America. *Journal of the Faculty of Education, Tottori University, Natural Science* 31: 11–4.

OCHYRA R. y MATTERI C.M. 2001. Bryophyta, Musci: Amblystegiaceae. *Flora Criptogámica de Tierra del Fuego* 14(10): 1-96.

OCHYRA R., LEWIS SMITH R.I. y BEDNAREK-OCHYRA H. 2008. The Illustrated Moss Flora of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge, 1-685.

OISHI Y. 2018. Evaluation of the Water-Storage Capacity of Bryophytes along an Altitudinal Gradient from Temperate Forests to the Alpine Zone. *Forests* 9(7): 433.

OLIVARES-CONTRERAS V.A., MATTAR C., GUTIÉRREZ A.G., JIMÉNEZ J.C. 2019. Warming trends in Patagonian subantarctic forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 76: 51-65. DOI: 10.1016/j.jag.2018.10.015

OSORIO F., IVANOVIC C. y BARRERA E. 2018. Briófitas. En: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Tercera Edición. Tomo I 412p. Santiago de Chile.

PAUCHARD A., KUEFFER C., DIETZ H., DAEHLER C.C., ALEXANDER J., EDWARDS P.J., AREVALO J.R., CAVIERES L.A., GUIBAN A. y HAIDER S. 2009. Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 479-486.

PAUCHARD A., MILBAU A., ALBIHN A., ALEXANDER J., BURGESS T., DAEHLER C., ENGLUND G., ESSL F., EVENGARD B., GREENWOOD G.B., HAIDER S., LENOIR J., MCDUGALL K., MUTHS E., NUÑEZ M.A., OLOFSSON J., PELLISSIER L., RABITSCH W., REW L.J., ROBERTSON M., SANDERS N. y KUEFFER C. 2016. Non-native and native organisms moving into high elevation and high latitude ecosystems in an era of climate change: new challenges for ecology and conservation. *Biological Invasions* 18: 345–353.

PÉREZ C.A., THOMAS F.M., SILVA W.A., SEGURA B., GALLARDO B. y ARMESTO J.J. 2014. Patterns of biological nitrogen fixation during 60,000 years of forest development on volcanic soils from south-central Chile. *New Zealand Journal of Ecology* 38: 189-200.

PICKERING C.M. y HILL W. 2007. Impacts of recreation and tourism on plant Biodiversity and vegetation in protected areas in Australia. *Journal of Environmental Management* 85: 791-800.

PICKERING C.M., HILL W., NEWSOME D. y LEUNG Y.F. 2010. Review: Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. *Journal of Environmental Management* 91: 551-562.

PISANO E. 1978. Establecimiento de *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Blume (coigüe de Magallanes) en un valle en proceso de desglaciación. *Anales del Instituto de la Patagonia* 9: 107-128.

PISANO, E. 1997. Los bosques de Patagonia Austral y Tierra del Fuego chilenas. *Anales del Instituto de la Patagonia* 25: 9-19.

PNUD. 2017. Catálogo de las especies exóticas asilvestradas/ naturalizadas en Chile. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB) Universidad de Concepción, Proyecto GEF/MMA/PNUD Fortalecimiento de los Marcos Nacionales para la Gobernabilidad de las Especies Exóticas Invasoras: Proyecto Piloto en el Archipiélago de Juan Fernández. Santiago de Chile. 61p.

PÓCS T. 1980. The epiphytic biomass and its effect on the water balance of two rain forest types in the Uluguru Mountains (Tanzania, East Africa). *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 26: 143-167.

PROCTOR M.C. 2008. Capítulo 6°. *Physiological Ecology*. 237 - 268 pág. En: *Bryophyte Biology: Second Edition*, ed. B. Goffinet & A. J. Shaw. Published by Cambridge University Press. 535p.

PROMIS A., GÄRTNER S., REIF A., CRUZ G. 2012. Effects of canopy gaps on forest floor vascular and non-vascular plant species composition and diversity in an uneven-aged *Nothofagus betuloides* forest in Tierra del Fuego, Chile. *Community Ecology* 13(2): 145-154.

REPETTO F. y CABALIN J.C. 2015. Potencial de restauración ecológica en zonas de uso público en el Parque Nacional Torres del Paine. *Anales Instituto Patagonia* 43(1):115-121.

RIVERA A., LANGE H., ARAVENA J.C. y CASASSA G. 1997. The 20th-century advance of Glaciar Pio XI, Chilean Patagonia. *Annals of Glaciology* 24: 66-71.

RIVERA A., CORRIPIO J., BRAVO C. y CISTERNAS S. 2012a. Glaciar Jorge Montt (Chilean Patagonia) dynamics derived from photos obtained by fixed cameras and satellite image feature tracking. *Annals of Glaciology* 53: 147-155.

RIVERA A., KOPPES M., BRAVO C. y ARAVENA J. 2012b. Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia. *Climate of the Past* 8: 403-414.

ROBINSON H. 1975. The mosses of Juan Fernández Islands. *Smithsonian Contributions to Botany* 27: 1-88.

RODRÍGUEZ R., MARTICORENA A. y TENEB E. 2008. Plantas vasculares de los ríos Baker y Pascua, Región de Aisén, Chile. *Gayana Botánica* 65(1): 39-70.

ROIVAINEN H. 1954. Studien über die Moore Feurlands. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae*. Vanamo 28(2): 1-205.

ROZZI R., ARMESTO J.J., GOFFINET B., BUCK W., MASSARDO F. 2008. Changing lenses to assess biodiversity: Patterns of species richness in sub-antarctic plants and implications for global conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 131-137.

ROZZI R., TYSKLIND N. y SANCHO L.G. 2014. Bryophyte-Cyanobacteria Associations during Primary Succession in Recently Deglaciated Areas of Tierra del Fuego (Chile). *PLoS ONE* 9(5): e96081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096081>

ROZZI R., ARMESTO J.J., GOFFINET B., BUCK W., MASSARDO F., SILANDER J., ARROYO M.T.K., RUSSELL S., ANDERSON C.B., CAVIERES L.A. y CALLICOTT J.B. 2008. Changing lenses to assess biodiversity: patterns of species richness in sub- Antarctic plants and implications for global conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 131-137.

RYDIN H. 2009. Population and community ecology of bryophytes. En: GOFFINET B. y SHAW A.J. *Bryophyte Biology*, 2nd Eds. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 393-444.

SALAFSKY N., SALZER D., STATTERSFIELD A., HILTON T., NEUGARTEN R., BUTCHART S., COLLEN B., COX N., MASTER L. y O'CONNOR S. 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology* 22(4):897-911.

SANDERSON E.W., JAITEH M., LEVY M.A., REDFORD K.H., WANNEBO A.V. y WOOLMER G. 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52(10): 891-904.

SCHIAVONE M.M. 1993. Bryophyta Musci: Polytrichinales. *Flora Criptogámica de Tierra del Fuego* 14(12): 1-61.

SCHUSTER R.M. 2000. Austral hepaticae. Part 1. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 118: 1-524.

SCHUSTER, R.M. 2002. Austral hepaticae. Part II. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 119: 1-606.

SEKI T. 1974. A moss flora of Provincia de Aysén, Chile. *Journal of Science of the Hiroshima University, Series B* 15: 9-101.

SILVA A., CHARLÍN R. y DOLLENZ O. 2008. Catálogo Preliminar de la Flora Vascular del Valle del Río Témpano, Magallanes, Chile. *Preliminar Catalogue of Vascular Flora from the Rio Tempno Valley, Magallanes, Chile. Anales Del Instituto De La Patagonia*, 36(1): 69-78.

SKOTTSBERG C. 1916. Botanische Ergebnisse der schwedischen Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande 1907-1909. V. Die Vegetationsverhältnisse längs der Cordillera de los Andes s. von 41° S. Br. Ein Beitrag zur Kenntnis der Vegetation in Chiloé, Westpatagonien, dem Andinen Patagonien und Feuerland. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 56(5): 1-366.

SLAYMAKER L. 2011. Criteria to distinguish between periglacial, proglacial and paraglacial environments. *Quaestiones Geographicae* 30(1): 85-94.

SÖDERSTRÖM L. y GUNNARSSON U. 2003. Life History Strategies. A Catalogue of population Biology Parameters for Bryophytes occurring in North-Western Europe. Manual v. 1.0-Bryoplanet. 68p.

SÖDERSTRÖM L., HAGBORG A., VON KONRAT M., BARTHOLOMEW-BEGAN S., BELL D., BRISCOE L., BROWN E., CARGILL D.C., COSTA D.P., CRANDALL-STOTLER B.J., COOPER E.D., DAUPHIN G., ENGEL J.J., FELDBERG K., GLENNY D., GRADSTEIN S.R., HE X., HEINRICHS J., HENTSCHEL J., ILKIUBORGES A.L., KATAGIRI T., KONSTANTINOVA N.A., LARRAÍN J., LONG DG, NEBEL M., PÓCS T., FELISA PUCHE F., REINER-DREHWALD E., RENNER M., SASS-GYARMATI A., SCHÄFER-VERWIMP A., MORAGUES J.G.S., STOTLER R.E., SUKKHARAK P., THIERS B.M., URIBE J., VÁÑA J., VILLARREAL J.C., WIGGINTON M., ZHANG L., ZHU R-L. 2016. World checklist of hornworts and liverworts. *PhytoKeys* 59: 1–828.

STANTON D.E. y REEB C. 2016. Morphogeometric Approaches to Non-vascular Plants. *Frontiers in Plant Science* 7:916. doi: 10.3389/fpls.2016.00916

STEPHANI F. 1911. Botanische Ergebnisse der schwedischen Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande 1907-1909. II. Die Lebermoose. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, n.s. 46(9): 1–92.

STEUBING L., GODOY R. y ALBERTI M. 2002. *Métodos en Ecología Vegetal*. Santiago, Editorial Universitaria. 345p.

SUBTURISMO. 2017. Turismo sustentable en áreas protegidas del estado: una apuesta de presente y futuro. 72p.

TACÓN A. y FIRMANI C. 2004. *Manual de senderos y uso público*. Proyecto CIPMA, Valdivia, Chile. 24p.

TEILLIER S. y MARTICORENA C. 2002. Riqueza florística del Parque Nacional Laguna San Rafael, XI Región, Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 51: 43-73.

TRONCOSO P.A., PÉREZ C., LARRAÍN J. y ARDILES V. 2013. Desarrollo de la fijación simbiótica de nitrógeno en una cronosecuencia primaria en la Isla Santa Inés, Región de Magallanes, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86(3): 345-356.

VANDERPOORTEN A. y HALLINGBÄCK T. 2009. Conservation biology of bryophytes. En: Bryophyte biology. 2009. Goffinet B. y Shaw J. Editores. Segunda Edición. Cambridge University Press. 565 pp

VELA-RUIZ G., ARAVENA J.C., TORRES J., RUIZ M., VERA-GIUSTI J., HUENUCOY C. y TONKO J.C. 2011. Guía para el Desarrollo de Proyectos Turísticos en el Parque Nacional Bernardo O'Higgins. Innova Corfo y CONAF. 63p.

USDA Forest Service. 2005. Common Control Measures For Invasive Plants of the Pacific Northwest Region. Washington. 359p.

VILLAGRÁN C. y BARRERA E. 2002. Musgos del Archipiélago de Chiloé, Chile. Corporación Nacional Forestal, Gobierno de Chile. Puerto Montt, Chile. 24p.

VILLAGRÁN C., BARRERA E. y MEDINA C. 2002. Las hepáticas del Archipiélago de Chiloé, Chile. Corporación Nacional Forestal, Gobierno de Chile. Puerto Montt, Chile. 26p.

VILLAGRÁN C., BARRERA E., CUVERTINO J. y GARCÍA N. 2003. Musgos de la Isla Grande de Chiloé, X Región, Chile: Lista de especies y rasgos fitogeográficos. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 52: 17-44.

VILLAGRÁN C., HÄSSEL DE MENÉNDEZ G. y BARRERA E. 2005. Hepáticas y Anthocerotos del Archipiélago de Chiloé. Una introducción a la flora briofítica de los ecosistemas templados lluviosos del sur de Chile. Corporación de Amigos del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile. 160p.

WALKER L.R. y DEL MORAL R. 2003. Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation. New York, Cambridge University Press.

WHITE A. y COPLAND L. 2013. Spatial and temporal variations of glacier extent across the Southern Patagonian Icefield since the 1970s. The Cryosphere Discuss 7:1-34.

ZEFFERMAN E., STEVENS J.T., CHARLES G.K., DUNBAR-IRWIN M., EMAM T., FICK S., MORALES L.V., WOLF K.M., YOUNG D.J. y YOUNG T.P. 2015. Plant communities in harsh sites are less invaded: a summary of observations and proposed explanations. AoB PLANTS 7: plv056; doi:10.1093/ aobpla/plv056

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Listado florístico de las especies de musgos y hepáticas registradas en las áreas de estudio Jorge Montt y Pío XI. Además, para cada especie se indican la morfología del gametofito (M), forma de vida (FV), sustrato (S) y patrones de distribución geográfica global (PDG) y en Chile (PDCh).

N°	División	Área de estudio	Orden	Familia	Especie	M	FV	S	PDG	PDCh
1	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Adelanthaceae	<i>Adelanthus integerrimus</i> Grolle	F	Cl	PV	En	M-VNS-TF-AJF-Ant
2	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Adelanthaceae	<i>Adelanthus lindenbergianus</i> (Lehm.) Mitt	F	Cl	S-PV	As	M-VNS-TF-AJF-Ant
3	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Adelanthaceae	<i>Cryptochila grandiflora</i> (Lindenb. & Gottsche) Grolle	F	Cl	S-R	Pn	VNS-AJF
4	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Adelanthaceae	<i>Syzygiella colorata</i> (Lehm.) K. Feldberg, Váňa, Hentschel & Heinrichs	F	Cl	S-R	Cos	VNS-CCh-AJF
5	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Anastrophyllaceae	<i>Anastrophyllum involutifolium</i> (Mont. ex Gottsche, Lindenb. & Nees) Steph.	F	Cl	R-PV	As	M-VNS-TF-AJF-Ant
6	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Anastrophyllaceae	<i>Anastrophyllum schismoides</i> (Mont.) Steph.	F	Cl	R-PV	As	VNS-TF-Ant
7	Bryophyta	JM	Andreaeales	Andreaeaceae	<i>Andreaea acutifolia</i> Hook. F. & Wilson	A	Cp	R	An	M-VNS-TF-Ant
8	Bryophyta	JM-PXI	Andreaeales	Andreaeaceae	<i>Andreaea cf. flabellata</i> Müll. Hal.	A	Cc	R	As	NS
9	Bryophyta	JM-PXI	Andreaeales	Andreaeaceae	<i>Andreaea regularis</i> Müll. Hal.	A	Cc	R	An	VNS
10	Bryophyta	PXI	Andreaeales	Andreaeaceae	<i>Acroschisma wilsonii</i> (Hook. f.) A. Jaeger	A	Cc	R	An	VNS-TF-Ant
11	Marchantiophyta	JM	Metzgeriales	Aneuraceae	<i>Riccardia</i> sp.	TS	TI	R	Ind	Ind
12	Marchantiophyta	PXI	Metzgeriales	Aneuraceae	<i>Riccardia cf. spegazziniana</i> C. Massal.	TS	TI	S	En	VNS
13	Marchantiophyta	PXI	Metzgeriales	Aneuraceae	<i>Riccardia cf. tenerrima</i> (Steph.) A. Evans	TS	TI	S	En	VNS
14	Marchantiophyta	PXI	Metzgeriales	Aneuraceae	<i>Riccardia cf. georgensis</i> (Steph.) Hässel	TS	TI	S-PV	En	VNS
15	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Blepharidophyllaceae	<i>Clandarium cf. gottscheanum</i> (Grolle) R.M. Schust.	F	Cc	PV	En	VNS
16	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Blepharidophyllaceae	<i>Blepharidophyllum densifolium</i> (Hook.) Ångstr. ex C. Massal.	F	Cc	PV	As	M-VNS-TF-Ant
17	Bryophyta	JM	Hypnales	Brachytheciaceae	<i>Brachytecium</i> sp.	PI	TI	R	Ind	Ind
18	Bryophyta	PXI	Hypnales	Brachytheciaceae	<i>Brachytecium</i> sp.	PI	TI	R	Ind	Ind
19	Bryophyta	JM	Bryales	Bryaceae	<i>Bryum cf. microimbrincatum</i> Ochi	A	Cc	R	Bp	VNS

20	Bryophyta	JM	Bryales	Bryaceae	<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P.Gaertn.	A	Cc	R	Cos	M-VNS-TF
21	Bryophyta	JM	Bryales	Bryaceae	<i>Bryum</i> sp.	A	Cc	R	Ind	Ind
22	Bryophyta	PXI	Bryales	Bryaceae	<i>Bryum</i> sp.	A	Cc	S	Ind	Ind
23	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Cephaloziellaceae	<i>Cephaloziella</i> cf. <i>dusenii</i> Steph.	F	Hr	S	As	NS
24	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Cephaloziellaceae	<i>Cephaloziella</i> cf. <i>varians</i> (Gottsche) Steph.	F	Hr	S	Bp	VNS
25	Bryophyta	JM-PXI	Dicranales	Dicranaceae	<i>Dicranoloma billarderii</i> (Brid.) Paris	A	Cl	S-PV	Pn	M-VNS-AJF
26	Bryophyta	PXI	Dicranales	Dicranaceae	<i>Dicranoloma imponens</i> (Mont.) Renauld	A	Cl	PV	As	VNS
27	Bryophyta	JM-PXI	Dicranales	Dicranaceae	<i>Dicranoloma robustum</i> (Hook. f. & Wilson) Paris	A	Cl	S-PV	As	VNS
28	Bryophyta	PXI	Dicranales	Dicranaceae	<i>Conostomum pentastichum</i> (Brid.) Lindb.	A	Cl	S	Bp	VNS-Ant
29	Bryophyta	JM	Dicranales	Ditrichaceae	<i>Ditrichum</i> cf. <i>brotherusii</i> (R. Br. bis) Seppelt	A	Cc	R	En	S-Ant
30	Bryophyta	PXI	Dicranales	Ditrichaceae	<i>Ditrichum</i> cf. <i>cylindricarpum</i> (Müll. Hal.) F. Muell.	A	Cl	R	Bp	M-VNS-Ant
31	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Frullaniaceae	<i>Frullania magellanica</i> F. Weber & Nees	F	Tl	PV	En	VNS
32	Bryophyta	JM	Grimmiales	Grimmiaceae	<i>Grimmia</i> sp.	A	Cp	R	Ind	Ind
33	Bryophyta	JM-PXI	Grimmiales	Grimmiaceae	<i>Racomitrium didymum</i> (Mont.) Lorentz	A	Cc	S-PV	As	M-VNS
34	Bryophyta	JM-PXI	Grimmiales	Grimmiaceae	<i>Racomitrium lanuginosum</i> (Hedw.) Brid.	PI	Tl	S-PV	Cos	M-VNS-AJF
35	Bryophyta	PXI	Grimmiales	Grimmiaceae	<i>Racomitrium</i> sp.	A	Cp	R	Ind	Ind
36	Bryophyta	JM	Hypnales	Hypnaceae	<i>Sanionia</i> cf. <i>uncinata</i> (Hedw.) Loeske	PI	Tl	S-PV	Bp	M-VNS-TF-Ant
37	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Jungermanniaceae	<i>Herzogobryum teres</i> (Carrington & Pearson) Grolle	F	Hr	S	As	NS
38	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lejeuneaceae	<i>Microlejeunea</i> sp.	F	Tl	PV	Ind	Ind
39	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lejeuneaceae	<i>Lejeunea</i> sp.	F	Tl	PV	Ind	Ind
40	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lejeuneaceae	<i>Brachiolejeunea spruceana</i> (C. Massal.) Schiffn.	F	Hr	PV	En	VNS
41	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lepicoleaceae	<i>Lepicolea ochroleuca</i> (Spreng.) Spruce	F	Tr	PV	As	VNS-Cch-AJF
42	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lepidolaenaceae	<i>Gackstroemia magellanica</i> (Lam.) Trevis	F	Tl	PV	En	VNS-ChC-AJF
43	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Lepidolaenaceae	<i>Gackstroemia patagonica</i> (Steph.) Grolle	F	Tl	PV	En	VNS
44	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lepidoziaceae	<i>Telaranea</i> sp.	F	Hr	S-PV	ind	Ind
45	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Lepidoziaceae	<i>Kurzia setiformis</i> (De Not.) J. J. Engel & R. M. Schust.	F	Hr	S	As	VNS
46	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lepidoziaceae	<i>Lepidozia chordulifera</i> (Spreng.) Spruce	F	Tr	PV	En	VNS-CCh-AJF
47	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Lepidoziaceae	<i>Lepidozia</i> cf. <i>laevifolia</i> (Hook. f. & Taylor) Gottsche, Lindenb. & Nees	F	Tr	PV	En	VNS



48	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lepidoziaceae	<i>Neolepidozia autoica</i> (J.J.Engel & G.L.Merr.) E.D.Cooper	F	Tr	S-PV	Bp	VNS-TF
49	Bryophyta	JM	Dicranales	Leucobryaceae	<i>Campylopus</i> sp.	A	Cc	S-PV	Ind	Ind
50	Bryophyta	PXI	Dicranales	Leucobryaceae	<i>Campylopus</i> cf. <i>acuminatus</i> Mitt.	A	Cl	S	As	VNS
51	Bryophyta	PXI	Dicranales	Leucobryaceae	<i>Campylopus introflexus</i> (Hedw.) Brid.	A	Cl	S	Cos	M-VNS-TF-AJF-Ant
52	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Chiloscyphus hookeri</i> J.J.Engel	F	TI	PV	En	VNS
53	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Chiloscyphus leptanthus</i> (Hook. f. & Taylor) J.J. Engel & R.M. Schust.	F	TI	S-PV	En	VNS
54	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Clasmatocolea fulvella</i> (Hook. f. & Taylor) Grolle	F	TI	S-PV	En	VNS
55	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Heteroscyphus magellanicus</i> (Steph.) J.J. Engel & R.M. Schust.	F	TI	PV	En	VNS
56	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Leptoscyphus chilensis</i> (De Not.) Hässel	F	TI	S-PV	En	VNS
57	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Leptoscyphus huidobroanus</i> (Mont.) Gottsche	F	TI	S-PV	En	VNS
58	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Lophocolea</i> cf. <i>attenuata</i> Steph.	F	TI	PV	En	VNS
59	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Lophocolea</i> sp.	F	TI	S-PV	Ind	Ind
60	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Lophocolea semiteres</i> (Lehm.) Mitt.	F	TI	PV	Bp	VNS
61	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Lophocoleaceae	<i>Pachyglossa dissitifolia</i> Herzog & Grolle	F	Cc	S-R	En	VNS-TF-Ant
62	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophozaceae	<i>Andrewsianthus</i> cf. <i>australis</i> J.J. Engel.	F	Hr	PV	En	VNS
63	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Lophozaceae	<i>Lophozia</i> sp.	F	TI	PV	Ind	Ind
64	Bryophyta	PXI	Bryales	Mniaceae	<i>Pohlia</i> sp.	A	Cc	S	Ind	Ind
65	Marchantiophyta	PXI	Pallaviciniales	Pallaviciniaceae	<i>Symphyogyna</i> sp.	TS	Den	PV	Ind	Ind
66	Bryophyta	JM	Hypnales	Plagiotheciaceae	<i>Plagiothecium</i> cf. <i>lamprostachys</i> (Hampe) A. Jaeger	PI	TI	R	As	VNS-TF-Ant
67	Bryophyta	JM-PXI	Polytrichales	Polytrichaceae	<i>Dendroligotrichum squamosum</i> (Hook. f. & Wilson) Broth. ex Cardot	Den	Den	S-PV	En	VNS-TF-Ant
68	Bryophyta	PXI	Polytrichales	Polytrichaceae	<i>Notoligotrichum trichodon</i> (Hook. f. & Wilson) G.L. Sm.	Den	Den	PV	An	N-TF-Ant
69	Bryophyta	JM-PXI	Polytrichales	Polytrichaceae	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. var. <i>juniperinum</i>	Den	Den	S-PV	Cos	M-VNS
70	Marchantiophyta	JM-PXI	Jungermanniales	Pseudolepicoleaceae	<i>Isophyllaria fuegiana</i> (Hässel) R.M.Schust.,	F	Hr	S-PV	En	N-TF
71	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Scapaniaceae	<i>Diplophyllum recurvifolium</i> C. Massal.	F	Cc	PV	En	VNS
72	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Schistochilaceae	<i>Schistochila</i> cf. <i>stratosa</i> (Mont.) A. Evans	F	TI	S-PV	En	VNS
73	Marchantiophyta	JM	Jungermanniales	Schistochilaceae	<i>Schistochila splachnophylla</i> (Hook.f. & Taylor) Steph.,	F	TI	S	As	VNS
74	Marchantiophyta	PXI	Jungermanniales	Schistochilaceae	<i>Schistochila</i> cf. <i>spagazziniana</i> (C.Massal.) Steph.	F	TI	S	En	VNS
75	Bryophyta	JM	Grimmiales	Seligeriaceae	<i>Blindia magellanica</i> Schimp. ex Müll. Hal.	A	Cc	R	As	M-VNS-TF

76	Bryophyta	PXI	Sphagnales	Sphagnaceae	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	A	Cl	S	Cos	VNS
----	-----------	-----	------------	-------------	------------------------------------	---	----	---	-----	-----

A (acrocarpo), Den (dendroide), Pl (pleurocarpo), F (foliosa) y TS (talosa simple).

Cc (césped corto), Cl (césped largo), TI (tapiz liso), Cp (cojín pequeño), Den (dendroide), Hr (hebra) y Tr (trama).

R (roca), S (suelo orgánico o mineral), PV (plantas vasculares), R-PV (roca-planta vascular), S-PV (suelo-planta vascular) y S-R (suelo-roca).

Cos (distribución amplia), Bp (bipolar), As (austral), An (andino), En (endémica), Pn (pantropical) e Ind (indeterminada).

M (mediterráneo), ChC (Chile central), VNS (valdiviano, nord patagónico y subantártico), NS (nord patagónico y subantártico), N (nord patagónico), S (subantártico), TF (Tierra del Fuego), AJF (archipiélago de Juan Fernández), Ant (península Antártica e islas adyacentes) e Ind (indeterminada).

## Anexo 2. Propuesta metodológica para indicadores de sustentabilidad de flora no vascular

Para determinar los tres indicadores mencionados en el punto 4.4, en cada sendero turístico y por cada nivel de altitud señalado, se elegirá un tramo de 50 m de extensión, por 10 m de ancho, que contenga micrositios con presencia de musgos y hepáticas distinguibles a simple vista (Figura Anexo 2.1). En los 50 m, se determinarán tres áreas de monitoreo: al inicio (1 m), zona media (25 m) y final (50 m) (Figura Anexo 2.1.b). En cada una de ellas, se instalarán cinco parcelas de monitoreo de flora no vascular de 1 m<sup>2</sup>, distribuidas como se señala en la Figura Anexo 2.1.c. Cada parcela estará subdividida en subparcelas de 50 y 25 cm<sup>2</sup>, respectivamente, para estimar la presencia y cobertura de plantas no vasculares y vasculares presentes (Steubing *et al.* 2002; Berg *et al.* 2016). Una vez instaladas, se procederá a tomar registro fotográfico de cada una de ellas siguiendo la metodología propuesta por Benavides y Sastre De Jesús (2009). Estos autores proponen un protocolo estandarizado para la toma de imágenes con el objetivo de mejorar la precisión y eficiencia en la estimación de la cobertura de briófitos, basado en un procesamiento digital de la imagen en un SIG. Este método es especialmente útil en estudios de monitoreo a largo plazo, porque ayuda a detectar pequeñas variaciones en la cobertura de las especies (Söderström y Gunnarsson 2003). Junto con la fotografía, en cada parcela se realizará un listado florístico de la flora no vascular y vascular presente, tomando muestras de referencias para aquellas especies que no se puedan determinar en terreno (Tabla Anexo 2.1).

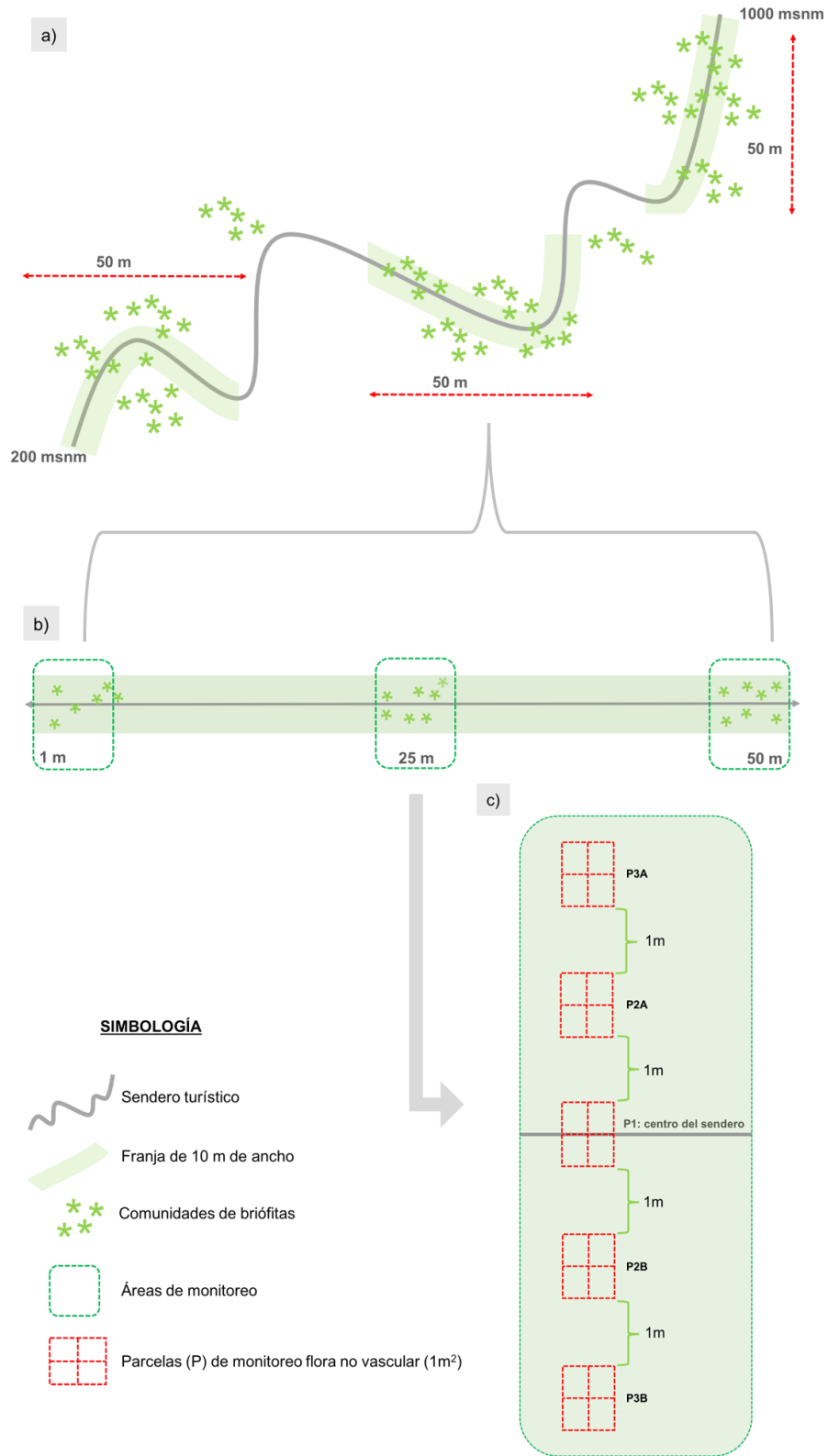


Figura Anexo 2.1. Representación de la propuesta de muestreo para el monitoreo de flora no vascular y la aplicación de los indicadores de sustentabilidad, modificado a partir de De la Maza *et al.* (2014). a) representación del sendero turístico, indicando los tramos de 50 m de longitud y 10 m de ancho donde se realizará el monitoreo, b) esquema ampliado del tramo de 50 m, indicando las tres áreas a monitorear, c) esquema ampliado de un área a monitorear, donde se indica la distribución espacial de las parcelas de 1m<sup>2</sup>.

En el caso del indicador I (cambio de cobertura por tipo biológico), para cada parcela se clasificarán las especies registradas en los tipos biológicos arbusto (Ab), herbáceo (Hc) y no fanerófito (Nf) según la Tabla Anexo 2.1.b. La estimación de la cobertura se realizará a partir del porcentaje de cuadrícula ocupado por cada tipo biológico en base al análisis digital de las fotografías de la parcela evaluada, en los diferentes años de monitoreo (Tabla Anexo 2.1.c).

Para el indicador II (cambio de la presencia y/o cobertura por especie según origen geográfico), para cada parcela se clasificarán las especies registradas (no vasculares y vasculares) según su origen geográfico en nativas e introducidas (Tabla Anexo 2.1.c). Para la estimación de la cobertura se seguirá el procedimiento del indicador I.

Finalmente, para el indicador III (tiempo de vida de la colonia), en las parcelas en que se registren las especies indicadoras a evaluar, se considerarán las colonias que posean al menos 10 gametofitos (con o sin esporofito), siendo la unidad mínima para monitorear. Estas colonias serán marcadas y fotografiadas con una grilla superpuesta de 25 cm<sup>2</sup> con subdivisiones de 1 cm<sup>2</sup>. El tiempo de vida de la colonia se calculará en relación con el porcentaje del área (cm<sup>2</sup>) de la parcela de monitoreo ocupada por la especie (Tabla Anexo 2.1.c).

Tabla Anexo 2.1. Modelo de planilla de datos para la propuesta de monitoreo de flora no vascular y la aplicación de los indicadores de sustentabilidad, modificado a partir de De la Maza *et al.* (2014). a) datos generales, b) datos del listado florístico, c) indicadores de sustentabilidad. Para más detalles ver Figura Anexo 2.1. \* código final de fotografía parcela, \*\* código final de fotografía colonias de especies indicadoras. En rojo se señalan las especies indicadoras.

a) Planilla de datos monitoreo flora no vascular								
Datos generales								
Fecha	15-03-20							
Año de monitoreo	1							
Sendero turístico	JM							
Nivel de altitud (msnm)	600							
Área de monitoreo (m)	25							
Código de parcela	P2B							
Coordenadas geográficas (UTM)	xxxxxE/xxxxxN							
Exposición	N-O							
Sustrato	roca							
T°(C) y %HR	15-56							
Código fotografía*	2020_JM_600_25_P2B							
Código fotografía especies indicadoras**	2020_JM_600_25_P2B_Ind							

b) Listado florístico								
Nº	listado florístico	grupo botánico	tipo biológico	origen geográfico	número de gametofitos	fenología	% de cobertura	cobertura de la colonia (cm2)
1	Sp1	musgo	Nf	nativa		S/esp	5	
2	Sp2	musgo	Nf	nativa		C/esp	3	
3	Sp3	hepática	Nf	nativa	≥ 10	S/esp	2	1
4	Sp4	hepática	Nf	nativa		C/esp	1	
5	Sp5	hepática	Nf	nativa		S/esp	6	
6	Sp6	hepática	Nf	nativa	≥ 10	S/esp	3	3
7	Sp7	helecho 1	Hc	nativa			7	
8	Sp8	liquen	Nf	nativa			15	
9	Sp9	helecho 2	Hc	introducido			20	
10	Sp10	helecho 3	Hc	nativa			18	
11	Sp11	vascular	Ab	introducido			8	
12	Sp12	vascular	Ab	nativa			12	

c) Indicadores de sustentabilidad			
1) cambio de cobertura por tipo biológico (CC-TB)			
Total de especies por tipo biológico		% de especies por tipo biológico	% cobertura por tipo biológico
Nf	7	58,3	35
Hc	3	25	45
Ab	2	16,6	20
2) cambio de presencia y/o cobertura según origen geográfico (P/A-OG)			
Total de especies según origen geográfico		% de especies según origen geográfico	% cobertura según origen geográfico
nativas	10	83,3	72
introducidas	2	16,7	28
3) tiempo de vida de la colonia (TVC)			
Especies indicadoras	TVC_t1 (cm2)	TVC_t2 (cm2)***	
Sp3	1		
Sp6	3		

