



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA EN MUSGOS EN LOS  
PÁRAMOS DE MOJANDA, PROVINCIA DE IMBABURA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR:**

Andy Fernando Castillo Fernández

**DIRECTORA:**

MSc. Tania Elizabeth Oña Rocha Ing.

**Ibarra, 2024**



**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Ibarra, 05 de febrero de 2024

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA EN MUSGOS EN LOS PÁRAMOS DE MOJANDA, PROVINCIA DE IMBABURA", de autoría del señor Castillo Fernández Andy Fernando estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

**TRIBUNAL TUTOR**

MSc. Oña Rocha Tania Elizabeth Ing.  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

MSc. Jácome Aguirre Gabriel Alexis Ing.  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1726575945		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Castillo Fernández Andy Fernando		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Tabacundo – Pedro Moncayo		
<b>EMAIL:</b>	afcastillof@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N/A	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0969819591

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Evaluación de la retención de agua en musgos en los páramos de Mojanda, provincia de Imbabura”
<b>AUTOR (ES):</b>	Castillo Fernández Andy Fernando
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	07/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Tania Elizabeth Oña Rocha Ing.

#### 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los siete días del mes de febrero de 2024

**EL AUTOR:**

Castillo Fernández Andy Fernando  
CI: 1726575945

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco profundamente a la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales por brindarme las instalaciones y medios para formarme profesionalmente.*

*Asimismo, expreso mi gratitud a todos los docentes quienes no solo compartieron sus conocimientos y experiencias, sino que también transmitieron valores que han dejado una huella significativa en cada etapa de mi formación académica.*

*De manera especial, deseo extender mi más sincero agradecimiento a la MSc. Tania Oña, directora de mi trabajo de titulación, y al MSc. Gabriel Jácome, asesor del mismo. Quienes con su dedicación, paciencia y compromiso han sido pilares fundamentales que me guiaron con sabiduría en el proceso de desarrollo de la presente tesis. Les estaré siempre agradecido por compartir conmigo su visión y experticia.*

*Finalmente, deseo expresar mi gratitud a mis compañeros y amigos que compartieron conmigo esta travesía universitaria. Su apoyo, palabras de ánimo y creencia en mí, incluso cuando yo mismo dudaba, fueron fundamentales. Quisiera destacar especialmente a Anderson, cuyas ideas, recomendaciones y ayuda en las salidas de campo de la presente investigación resultaron invaluable.*

*A todos, ¡gracias totales!*

***Andy Fernando Castillo Fernández***

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este proyecto de titulación a mi familia, y de manera especial a mis padres, quienes han sido pilar fundamental de mi formación personal y académica. Su apoyo incondicional y palabras de aliento han sido la guía constante que me inspiró a continuar creciendo durante mi trayectoria estudiantil, incluso en los momentos más desafiantes.*

*Andy Fernando Castillo Fernández*

## Índice de Contenido

Contenido	Página
CAPÍTULO I.....	1
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes o estado del arte .....	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general .....	7
1.3.2 Objetivos específicos .....	7
1.4 Preguntas directrices de la investigación.....	7
1.5 Hipótesis .....	7
CAPÍTULO II .....	8
2 Marco Teórico.....	8
2.1 Páramo.....	8
2.2 Briófitos.....	9
2.2.1 Importancia ecológica.....	9
2.2.2 Diversidad .....	9
2.2.3 Usos.....	10
2.3 Musgos .....	10
2.3.1 Ecología.....	11
2.3.2 Importancia ecológica.....	11
2.3.3 Género relevante .....	12
2.3.4 Amenazas para los musgos .....	12
2.4 Diversidad.....	13
2.4.1 Diversidad alfa ( $\alpha$ ) .....	13
2.4.2 Diversidad beta ( $\beta$ ).....	15
2.5 Contenido hídrico .....	16
2.5.1 Contenido hídrico en musgos.....	16
2.6 Marco Legal.....	17
2.6.1 Constitución de la República del Ecuador .....	17

2.6.2	Tratados y convenios internacionales .....	18
2.6.3	Leyes Orgánicas.....	19
2.6.4	Ordenanzas Municipales.....	20
CAPÍTULO III.....		21
3	Marco Metodológico.....	21
3.1	Descripción del área de estudio.....	21
3.1.1	Condiciones climáticas.....	22
3.1.2	Cobertura vegetal y uso de suelo .....	22
3.2	Métodos .....	23
3.2.1	Caracterización de la diversidad de musgos .....	23
3.2.2	Contenido hídrico de las muestras colectadas.....	29
3.2.3	Diseño de estrategias para la conservación musgo en el páramo.....	31
3.3	Materiales y equipos.....	32
CAPÍTULO IV.....		33
4	Resultados y Discusión.....	33
4.1	Identificación y selección de sitios de muestreo .....	33
4.2	Riqueza de musgos.....	35
4.2.1	Distribución por sitio.....	36
4.2.2	Abundancia de musgos por familia.....	38
4.2.3	Abundancia de musgos por géneros.....	39
4.2.4	Abundancia de musgos por especies.....	40
4.3	Resultados de la diversidad de musgos .....	41
4.3.1	Curva de acumulación de especies.....	41
4.3.2	Valoración de los índices de diversidad alfa.....	42
4.3.3	Valoración del índice de diversidad beta .....	44
4.4	Contenido hídrico de las muestras colectadas .....	45
4.4.1	Determinación del contenido hídrico de las muestras de musgos.....	45
4.4.2	Determinación de la capacidad máxima de retención de agua .....	50
4.4.3	Análisis de capacidad máxima de retención de agua en órdenes.....	52
4.5	Estrategias para la conservación de musgos en los páramos de Mojanda....	57
4.5.1	Identificación de problemas .....	57

4.5.2	Matriz de Vester.....	58
4.5.3	Problemas críticos encontrados.....	60
CAPÍTULO V .....		70
5	Conclusiones y Recomendaciones.....	70
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Recomendaciones.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....		72
ANEXOS.....		85



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Criterios de calificación de acuerdo con la influencia .....	31
<b>Tabla 2.</b> Criterios para la clasificación de los problemas.....	32
<b>Tabla 3.</b> Materiales, equipos y software a empleados en el estudio.....	32
<b>Tabla 4.</b> Sitios de muestreo .....	33
<b>Tabla 5.</b> Listado de especies de musgos colectados por sitios de muestreo.....	35
<b>Tabla 6.</b> Índices de diversidad alfa para los sitios muestreados.....	43
<b>Tabla 7.</b> Capacidad máxima de retención de agua (%), por órdenes de musgo.....	52
<b>Tabla 8.</b> Prueba de ANOVA para los órdenes de musgos .....	53
<b>Tabla 9.</b> Comparaciones en parejas de Tukey .....	54
<b>Tabla 10.</b> Grupos formados a partir de órdenes de musgos con variación homogénea .....	55
<b>Tabla 11.</b> Prueba de ANOVA para los grupos de órdenes formados.....	56
<b>Tabla 12.</b> Matriz de Vester problemáticas que amenazan a los musgos en el paramos de Mojanda.....	58
<b>Tabla 13.</b> Programa de educación ambiental orientado a la prevención de quemas e incendios .....	64
<b>Tabla 14.</b> Programa de educación ambiental enfocado al turismo responsable.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del páramo de Mojanda.....	21
<b>Figura 2.</b> Cobertura vegetal y uso de suelo del páramo de Mojanda .....	23
<b>Figura 3.</b> Diseño de cuadrícula para caracterizar la diversidad de musgos .....	24
<b>Figura 4.</b> Sitios de muestreo y colección de musgos .....	35
<b>Figura 5.</b> Distribución de musgos en familias, géneros y especies por sitio de muestreo .....	36
<b>Figura 6.</b> Abundancia de musgos por sitio a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4.....	38
<b>Figura 7.</b> Relación abundancia-familias en musgos de Mojanda.....	39
<b>Figura 8.</b> Relación abundancia-géneros en musgos de Mojanda .....	39
<b>Figura 9.</b> Relación abundancia-especies en musgos de Mojanda .....	41
<b>Figura 10.</b> Curva de validación del muestreo .....	42
<b>Figura 11.</b> Dendrograma con el índice Jaccard para los sitios muestreados .....	45
<b>Figura 12.</b> Capacidad de retención de agua en condiciones de campo por sitio de muestreo a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4.....	46
<b>Figura 13.</b> Vista en estereoscopio de musgo del género Sphagnum .....	47
<b>Figura 14.</b> Estructura externa y celular de Sphagnum .....	48
<b>Figura 15.</b> Vista en estereoscopio de musgo del género Polytrichum .....	49
<b>Figura 16.</b> Estructura externa y celular de Polytrichum.....	49
<b>Figura 17.</b> Capacidad máxima de retención de agua en condiciones de laboratorio por sitio de muestreo a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4 .....	50
<b>Figura 18.</b> Diagrama de cajas y bigotes de para órdenes de musgos .....	53
<b>Figura 19.</b> Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey .....	54
<b>Figura 20.</b> Distribución normal en residuos (a) y prueba de igualdad de varianzas (b) .....	55
<b>Figura 21.</b> Diagrama de cajas y bigotes agrupados por órdenes de musgos .....	56
<b>Figura 22.</b> Clasificación de problemas identificados y valorados en la zona del páramo de Mojanda.....	60

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA EN MUSGOS EN LOS**  
**PÁRAMOS DE MOJANDA, PROVINCIA DE IMBABURA**

Castillo Fernández Andy Fernando

**RESUMEN**

Los musgos tienen la capacidad de retener agua en sus células, varias veces el peso de su cuerpo, liberándolos lentamente. Esto beneficia la infiltración de la lluvia, mantiene la humedad atmosférica y protege el suelo de la erosión y la pérdida de nutrientes. La presente investigación se llevó a cabo en el páramo de Mojanda, provincia de Imbabura. El muestreo se realizó en cuatro sitios que comprenden diferentes unidades fisionómicas: bosque siempreverde del páramo, herbazal inundable del páramo, arbustal siempreverde y herbazal del páramo, y herbazal del páramo. El objetivo fue caracterizar la diversidad de musgos y evaluar tanto el contenido hídrico como la capacidad máxima de retención de agua de las muestras colectadas. En estos sitios, se identificaron un total de 7 órdenes distribuidos en 15 familias, 18 géneros y 22 especies de musgos, siendo Bartramiaceae la familia más representativa en cuanto a la abundancia. En relación con el contenido hídrico, se evidenció que el musgo del género *Sphagnum* exhibió la capacidad más destacada para retener agua con 2117 %, lo cual indica que este puede almacenar alrededor de 21 veces su peso en agua. Mediante los análisis estadísticos de ANOVA, se determinó que todos los órdenes de musgo poseen igual capacidad máxima de retención de agua. Además, se propusieron dos programas de conservación de musgos basados en educación ambiental, focalizados en la prevención de quemadas e incendios, así como en el turismo responsable, con el fin de contrarrestar el deterioro de las comunidades de musgos en el páramo.

**Palabras clave:** Briófitos, Musgos, Contenido hídrico, Diversidad, Páramo

## ABSTRACT

Mosses have the ability to retain water in their cells, several times their body weight, slowly releasing it. This benefits rain infiltration, maintains atmospheric humidity and protects the soil from erosion and nutrient loss. The present investigation was carried out in the Mojanda moorland, Imbabura province. Sampling was done at four sites comprising different physiognomic units: evergreen moorland forest, floodable moorland grassland, evergreen shrubland and moorland grassland, and moorland grassland. The objective was to characterize moss diversity and evaluate both the water content and the maximum water retention capacity of the collected samples. In these sites, a total of 7 orders distributed in 15 families, 18 genera and 22 moss species were identified, with Bartramiaceae being the most representative family in terms of abundance. Regarding water content, it was evidenced that the moss of the genus *Sphagnum* exhibited the most prominent capacity to retain water with 2,117%, which indicates that it can store around 21 times its weight in water. By means of ANOVA statistical analyses, it was determined that all moss orders possess the same maximum water retention capacity. In addition, two moss conservation programs based on environmental education were proposed, focused on the prevention of burning and fires, as well as responsible tourism, in order to counteract the deterioration of moss communities in the moorland.

**Key words:** Bryophytes, Mosses, Water content, Diversity, Moorland

# CAPÍTULO I

## Introducción

### 1.1 Antecedentes o estado del arte

Los briófitos son plantas no vasculares caracterizadas por su pequeño tamaño y carecer de estructuras florales, frutas o semillas en comparación a la vegetación vascular; desempeñan variedad de funciones ecológicas en distintos ecosistemas, como la regulación de la humedad en el entorno, retención de minerales y nutrientes disueltos en el agua de lluvia, inhibición del proceso de erosión del suelo, refugio para organismos invertebrados, contribuyen a generar condiciones apropiadas para el desarrollo secuencial de la vegetación, entre otros roles (Gil et al., 2018). Los musgos son el grupo más grande y conocido de briófitos, donde las hepáticas y los antocerotes completan este gran conjunto de organismos; alrededor del mundo existen cerca de 18 000 y 25 000 especies distribuidas en su mayoría en bosques húmedos y tropicales entre 2 000 y 3 000 m.s.n.m (Hoyos, 2018).

Alrededor del mundo se han llevado a cabo diversos estudios acerca del contenido de agua en musgos debido a la importancia de estos organismos en los ecosistemas terrestres y su papel en el ciclo hidrológico, captando cantidades considerables de agua lluvia, exhibiendo una gran capacidad de retención de agua que puede llegar a ser varias veces su peso en seco, esta habilidad es particularmente destacada en los bosques que albergan una gran cantidad de epífitas, como los bosques lluviosos tanto templados como tropicales, donde en conjunto pueden retener alrededor de 15 000 kg de agua por hectárea (Pedraza, 2022).

En la investigación que se llevó a cabo por Coelho et al. (2023), en tres sitios de vegetación nativa de la isla Terceira, una de las nueve Islas de las Azores (Portugal), se concluyó que todas las especies de briófitos pueden retener una cantidad importante de agua a través de una variedad de estructuras internas y externas.

Según el estudio de Oishi (2018), en los bosques de las regiones montañosas de Japón, se identificó que los musgos desempeñan un papel significativo en el aumento del almacenamiento de agua gracias a su destacada habilidad para retenerla, además se evidenció que la capacidad de almacenamiento de agua en los briófitos está influenciado por sus formas de vida e interacciones, lo que afecta a la humedad del suelo; sin embargo, no varía con la altitud ni muestra diferencias significativas entre los tipos de sustrato; así también, advierte que el calentamiento global podría causar daños graves a estos briófitos, lo que a su vez podría llevar a una subutilización de este recurso hídrico.

En la investigación realizada por Michel et al. (2013), se indagó cómo la perturbación, incluyendo incendios y la eliminación de la capa superficial del suelo, afecta la composición, biomasa y capacidad de almacenamiento de agua de los briófitos en pastizales autóctonos templados de matas altas en Nueva Zelanda; los resultados demostraron que los musgos conservan su capacidad de brindar un servicio ecosistémico al regular el agua y contribuir al almacenamiento de agua en estos ecosistemas, a pesar de las perturbaciones mencionadas; se indica que ciertas especies de musgos puede llegar a retener mayor cantidad de agua en su estructura que otros.

Los musgos en América Latina se han convertido en objetos de estudio significativos debido a su habilidad para retener agua, un aspecto de gran relevancia en la gestión de recursos hídricos y la preservación de los ecosistemas; uno de los países pioneros en el estudio de musgos y la briología en la región es Colombia, país destacado en la investigación de musgos debido a su diversidad de ecosistemas y climas, donde se han llevado a cabo investigaciones en áreas como los páramos y bosques húmedos de montaña; principalmente enfocados en evaluar la capacidad de los musgos para retener agua y su importancia en la regulación de los flujos de agua en estos ecosistemas de alta montaña (Ramírez et al., 2018).

En el estudio llevado a cabo por Montenegro et al. (2005), acerca de la regulación hídrica de cinco especies de musgos en el páramo de Chingaza, se concluyó

que el género *Sphagnum*, conocido comúnmente como musgo de turbera, exhibe una notable capacidad para retener agua. Así también en la investigación efectuada por Merchán et al. (2011), en los municipios de Siachoque, Toca y Pesca en Boyacá, se concluyó que los musgos desempeñan una función significativa en el ecosistema gracias a su estructura morfológica que les permite retener cantidades significativas de agua y mejorar los niveles de humedad en el suelo; así también de acuerdo a este estudio se determinó que la familia con mayor contenido de agua encontrada fue *Sphagnaceae*, principalmente debido a la eficiente capacidad de captación de agua de estas plantas, atribuido a su morfología y estructura celular grande y altamente hidrofílica, lo que las convierte en excelentes absorbentes y les permite retener agua de manera efectiva.

## **1.2 Problema de investigación y justificación**

La principal causa de la disminución de los musgos en la actualidad es la influencia de las actividades humanas; esto ha llevado a una notable reducción en la población de estas especies, lo que afecta directamente la conservación de los recursos hídricos (Pedraza, 2022). Estas alteraciones en la estructura de los bosques generan cambios en las condiciones microclimáticas, los cuales repercuten en la diversidad tanto taxonómica como funcional de organismos sensibles como los briófitos; como resultado de estas modificaciones, es posible que se produzcan ciertas consecuencias en los procesos ecológicos que llevan a cabo estos organismos, así como en sus respuestas a los nuevos entornos (Peñate, 2020).

Martínez (2020) hace referencia a que los páramos y bosques andinos han experimentado transformaciones significativas debido a la actividad humana, que incluye la ganadería, la agricultura y las prácticas de quema, entre otros factores; estos cambios han resultado en la pérdida de especies vegetales leñosas, lo que a su vez conlleva una afección a las plantas epífitas como los briófitos; por un lado, esto se debe a la escasez de sustratos adecuados para su crecimiento, y por otro, a las alteraciones microclimáticas, como la exposición directa al sol; estas nuevas condiciones pueden

tener un impacto en la diversidad y en la distribución altitudinal de los musgos, lo que puede dar lugar a modificaciones en la composición de especies.

El aumento significativo en la demanda de musgos y otras especies vegetales durante la temporada navideña para la creación de pesebres ha generado preocupaciones de índole ecológica; esto se debe a que muchas personas aún no comprenden la relevancia de los musgos ni la función crucial que desempeñan como protectores de la biodiversidad, especialmente en ecosistemas como los bosques nublados y los páramos; donde cumplen funciones como regulador hídrico, proteger el suelo, refugio de fauna de pequeño tamaño y demás funciones fundamentales para mantener la armonía en el entorno ecológico (Sánchez, 2012).

El turismo no regulado en áreas de páramo puede tener varios efectos negativos en los musgos y en los ecosistemas en los que se desarrollan; algunas de las formas en las que el turismo no regulado puede afectar a los musgos incluyen: la compactación del suelo, pisoteo y destrucción directa de la vegetación, extracción de musgos, alteración del microclima, alteración del hábitat, introducción de especies exóticas, basura, contaminación, entre otras actividades, que dañan los musgos y otros componentes del ecosistema (Aguirre et al., 2015).

Erazo (2016) menciona que la sequía estacional provocada por condiciones climáticas adversas, ha tenido un impacto negativo en la gestión de recursos esenciales, como el agua, lo que afecta a comunidades enteras, incluyendo seres humanos, animales y plantas; en este contexto, se resalta la relevancia de los musgos en los ecosistemas, ya que desempeñan un papel fundamental en la administración de agua, comprendida por la captación, almacenamiento y distribución de la misma, especialmente en un ecosistema proveedor de agua dulce para la región como lo es el ecosistema de páramo.

Los musgos son reconocidos por su capacidad sobresaliente para absorber agua, siendo capaces de retener hasta veinte veces su peso en estado seco; esta propiedad



desempeña un papel crítico en la gestión del ciclo del agua en el ecosistema en el que prosperan; después de que los musgos capturan el agua, ocurre un proceso diverso en la que una parte de esta agua se evapora gradualmente en la atmósfera, otra parte se filtra lentamente en el suelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos, mientras que la restante es retenida por los propios musgos; desempeñando un papel esencial en la regulación del equilibrio hídrico en su entorno (Serrano, 2015).

Según la investigación llevada a cabo por Betancourt (2019), la cual se centró en evaluar el rol de los musgos como plantas facilitadoras en los páramos, se identificó que los musgos contribuyen al aumento del contenido de agua en el suelo y, posiblemente, suministran una mayor cantidad de nitrógeno a las plantas asociadas; esto se debe a que las plantas que crecen en conjunto con los musgos presentaron niveles más elevados de clorofila, una mayor eficiencia fotosintética y una regulación metabólica mejorada, lo cual que se refleja en una salud mejorada para estas plantas que coexisten con los musgos.

Con base en la investigación llevada a cabo por Guamaní (2020), se hace referencia a que, a pesar de los múltiples esfuerzos realizados en Ecuador para avanzar en el conocimiento de los briófitos, todavía existe un considerable trabajo pendiente; entre los principales problemas, se ha destacado la escasez de expertos en esta área, la limitación de recursos financieros para llevar a cabo investigaciones de este tipo y en general, la limitación en la disponibilidad de literatura especializada.

De los escasos estudios realizados en Ecuador, la mayoría se ha enfocado en un conjunto limitado de provincias, como Pichincha, Loja, Azuay, Napo, Orellana, Carchi, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Morona Santiago, Sucumbíos, Tungurahua y Zamora Chinchipe; sin embargo, esta concentración geográfica ha dejado un vacío significativo de información sobre los musgos en otras regiones del país, incluyendo la provincia de Imbabura; esta falta de estudios científicos en estas áreas ha resultado en un conocimiento limitado sobre la diversidad y el papel ecológico de los musgos en numerosos ecosistemas ecuatorianos (Guamaní, 2020).

La selección de los musgos como elemento de estudio se da debido a sus notables características físicas, que les permiten sobrevivir en condiciones de sequía extrema y recuperar sus estructuras y funciones una vez que vuelven a estar en contacto con el agua; otro factor importante en la selección de este briófito es la abundante diversidad de especies de musgos que se encuentran en los ecosistemas de alta montaña como el páramo, lo que amplía la comprensión de su papel en estos ecosistemas (Erazo, 2016).

Hasta la fecha, no se cuenta con un estudio acerca de la evaluación de la retención de agua en musgos en los páramos de Imbabura, tampoco en otros páramos del Ecuador, esto debido a la poca especialización en cuanto al tema, a pesar que han existido campañas en el país acerca de la importancia de los musgos en la ecología principalmente en la captación y distribución del agua, depuración del CO<sub>2</sub>, servicio de hábitat de muchos microorganismos y especies animales, que lo utilizan para su alimentación y protección, entre otras funciones (Urgiles, 2018).

El páramo de Mojanda alberga una amplia presencia de estas diminutas plantas, que se encuentran en rocas, árboles y el suelo; esta abundancia es notoria al explorar la región, y se debe en gran medida a las condiciones ambientales húmedas que son propicias en los páramos, estas condiciones favorecen la diversidad de musgos y hepáticas en el área (Mendoza, 2017).

Como se ha mencionado anteriormente, Imbabura ha sido escasamente inventariada desde el punto de vista brioflorístico, por lo tanto, el presente estudio acerca de la evaluación de la retención de agua en un área de páramo, como Mojanda, aportará valiosa información acerca de la capacidad de retención de agua de las diferentes familias de musgos presentes en la zona, así también servirá para impulsar diferentes estudios relacionados a estos briófitos en otros páramos de la provincia de Imbabura y del Ecuador (Toapanta, 2011). Este proyecto de investigación pretende aportar con información y estrategias para la conservación de musgos en zonas de páramo, buscando fortalecer el cuidado y conservación de estos briófitos en el país.

La presente investigación se sitúa dentro del marco del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, específicamente siguiendo las directrices del objetivo 11 del Eje de Transición Ecológica, el cual hace mención de conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021).

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Evaluar la capacidad de retención de contenido hídrico en musgos de la zona de los páramos de Mojanda, provincia de Imbabura.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar la diversidad de los musgos presentes en los páramos de Mojanda.
- Determinar el contenido hídrico de las muestras de musgos colectadas en campo.
- Definir estrategias para la conservación de musgos en los páramos de Mojanda.

### **1.4 Preguntas directrices de la investigación**

¿Cuál es la diversidad de musgos presentes en el páramo de Mojanda?

¿Qué musgos presentan mejor capacidad de retención de agua?

### **1.5 Hipótesis**

- **Ho:** Todos los órdenes de musgos presentes en el páramo de Mojanda poseen igual capacidad máxima de retención de agua.
- **Ha:** Todos o al menos uno de los órdenes de musgos presentes en el páramo de Mojanda poseen diferente capacidad máxima de retención de agua.

## **CAPÍTULO II**

### **Marco Teórico**

#### **2.1 Páramo**

Ecosistema de alta montaña que se encuentran en las zonas de transición entre el límite de del bosque cerrado en los Andes del Norte y las áreas de nieves perpetuas; estos entornos están caracterizados por una vegetación abierta que incluye pajonales, rosetales, arbustos, zonas húmedas y pequeños bosques dispersos (Hofstede et al., 2014). Los páramos presentan una variabilidad en cuanto a su composición, tanto por sus suelos como por factores climáticos, tales como la temperatura, precipitación, evapotranspiración y los vientos, los cuales desempeñan un papel diversificador en la vegetación de páramo contribuyendo a la creación de una amplia variedad de microclimas y hábitats (Llambí et al., 2012). Este ecosistema posee un clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra, por lo que su potencial para el uso productivo es en términos generales, muy limitado (Calderón, 2019).

En Ecuador, los páramos tienen una altura promedio de 3 300 m.s.n.m., cubriendo el 7 % del territorio nacional, proveen servicios ecosistémicos como: recursos hídricos de calidad y sumideros de carbono; sus suelos con densidad aparente baja, estructura abierta y porosa posibilitan retención de agua y alta conductividad hidráulica, donde se desarrollan plantas endémicas y diversidad faunística (Chuncho y Chuncho, 2019). En los páramos de Ecuador se pueden identificar tres tipos principales de vegetación que se encuentran asociados con diferentes altitudes: el páramo de pajonal (entre 3 400 y 4 000 metros), el páramo de almohadillas y arbustos (entre 4 000 y 4 500 metros) y el páramo desértico o súperpáramo (por encima de 4 500 metros hasta los 4 800 - 4 900 metros), estas divisiones altitudinales marcan la distribución característica de cada tipo de vegetación en los páramos (Caguana, 2020).

## **2.2 Briófitos**

Son considerados como uno de los grupos de plantas más diversas y primitivas del planeta estas incluyen tres grupos entre los cuales se encuentran a musgos, hepáticas y antocerotes, las cuales comparten ciertas características como no poseer conductos especializados para transportar agua y nutrientes, por lo que son plantas pequeñas, de crecimiento lento y desprovistas de tejidos vasculares (Estébanez et al. 2011). Los briófitos son un grupo de organismos no vasculares poiquilohídricos, es decir, su humedad depende del medio ambiente, ya que son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, lo que les permite retenerla y regularla, para ser utilizada en periodos de sequía y suministro en procesos vitales (Motito y Rivera, 2017). Estas plantas logran adaptarse a diferentes ambientes, y se encuentran en las cortezas de árboles, hojas, materia en descomposición, rocas, suelo, y en cualquier lugar en el que encuentren las condiciones mínimas para sobrevivir (Gil et al., 2018).

### **2.2.1 Importancia ecológica**

Los briófitos tienen una gran importancia ecológica gracias a su papel en el mantenimiento de los ecosistemas y en la conservación de la biodiversidad, ya que ayudan a la regulación y conservación del agua, alimentación de animales, hábitat para animales pequeños, contribución a la formación de suelos y contribución a la calidad del aire; además de ser buenos indicadores ecológicos (Lombo, 2019). Así también son fundamentales en el establecimiento, desarrollo y sustentabilidad de la vida, desde su rol en la sucesión, la producción de fitomasa, en la herbivoría, en la descomposición y en el ciclo de nutrientes; funciones que son aprovechadas por otros organismos, incluyendo las plantas vasculares, las aves y los invertebrados (Morales et al., 2017).

### **2.2.2 Diversidad**

Los briófitos están compuestas por tres grandes grupos de organismos tales como: musgos, hepáticas y antocerotes, se calcula la existencia de más de 18 000 especies de briófitos detalladas en el mundo, de las cuales aproximadamente de 12 800

son musgos siendo estos el grupo más diverso y común dentro de este grupo, estos se caracterizan por tener hojas en forma de láminas y tallos cortos y erectos, además, se encuentran en una amplia variedad de hábitats (Delgadillo, 2014). Las hepáticas abarcan aproximadamente 7 000 especies, las cuales se caracterizan por tener un talo aplanado en lugar de hojas y una estructura parecida a un hígado, siendo esta la razón de dicha denominación (Grau, 2021). En cuanto a los antocerotes estos contienen alrededor de 250 especies, las cuales se caracterizan por tener una estructura parecida a una cornamenta y una apariencia algo similar a las algas, con frecuencia crecen en asociación con musgos y hepáticas (García y Magaña, 2019).

### **2.2.3 Usos**

Los autores Morales et al. (2017), hacen referencia a que los briófitos son ampliamente utilizados en el campo ambiental y científico ya que son excelentes bioindicadores, y son usados para el monitoreo ambiental, gracias a su capacidad para acumular metales pesados, lluvia ácida, dióxido de azufre, fluoruros, ozono entre otros contaminantes ambientales, lo que los convierte en indicadores biológicos de la contaminación del aire y del agua. Otro uso destacado que se dan a las briófitos es en la horticultura donde se utiliza generalmente musgos en la elaboración de sustratos para la germinación de semillas de diversas plantas y como un medio de cultivo para plantas epífitas, como orquídeas y bromelias; así también son utilizados en diversos campos como la construcción, manufactura, medicina, y demás (Pacheco, 2012).

## **2.3 Musgos**

Son el grupo más grande y complejo de briófitos, y generalmente se encuentran en entornos húmedos; a pesar de esto, algunos grupos de musgos han desarrollado adaptaciones para sobrevivir en condiciones difíciles, como entornos con escasez de agua durante largos períodos y temperaturas extremas, incluyendo desiertos y regiones polares (Allen et al., 2006). Los musgos son plantas no vasculares de pocos centímetros de altura, aunque algunos de ellos pueden llegar a medir hasta aproximadamente 50

cm, carecen de verdaderas raíces, tallos y hojas; poseen estructuras similares llamadas rizoides, cauloides y filoides, respectivamente (Freire & Bayón, 2021).

En la estructura de la planta se pueden distinguir tres componentes: el gametofito que se adhiere al sustrato por medio de los rizoides, la seta alargada y una cápsula que incluye pequeños dientes que forman el peristoma, que a su vez está resguardada por una caliptra que puede o no tener un opérculo (Delgadillo, 2014). La coloración de los musgos es variada, estas pueden ser verdes, amarillas, rojizas y en ciertos casos incluso negras, las hojas se disponen en espiral o en forma opuesta, con o sin costa, tienen crecimiento acrocárpico, cuando las plantas son erectas, carecen de ramificaciones y el esporofito nace en la punta y de crecimiento pleurocárpico cuando son rastreras, con varias ramificaciones y el esporofito nace al costado (Morales et al., 2017).

### ***2.3.1 Ecología***

Los musgos juegan un papel importante en la ecología de los ecosistemas en los que crecen, ya que estos se presentan en una amplia variedad de hábitats terrestres y subacuáticas, desde trópicos hasta regiones polares, donde crecen sobre rocas, corteza de árboles y formando alfombras en el piso de los bosques (Delao y Evangelista, 2012). Algunos aspectos importantes en la ecología de los musgos hacen referencia a las adaptaciones a ambientes húmedos, ya que estas se adaptan bien a ambientes húmedos y sombreados, donde obtienen la humedad que necesitan para poder sobrevivir, así también los musgos pueden tener una relación simbiótica con otros organismos, tales como bacterias y hongos, los cuales proporcionan nutrientes y protección contra ciertos patógenos (San Nicolás, 2017).

### ***2.3.2 Importancia ecológica***

Los musgos pueden retener agua y nutrientes en sus células varias veces el peso de su cuerpo y liberarla lentamente, favoreciendo a la infiltración de la lluvia y a mantener la humedad atmosférica, así también favorecen a la protección del suelo,

debido a que los musgos pueden cubrir grandes cantidades de superficie del suelo, disminuyendo la erosión y la pérdida de nutrientes (Wildlife Conservation Society, 2020). Sirven como fuente de alimento y albergue para ciertos microorganismos, ya que los musgos pueden ser una fuente importante de alimento para pequeños animales e insectos, como caracoles, babosas, insectos y arañas; albergando una gran variedad de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas (Rams, 2008). Contribuyen al ciclo del carbono debido a que los musgos pueden acumular grandes cantidades de carbono tanto en sus células como en el sustrato en el que se desarrollan especialmente en ambientes de alta latitud, así también colaboran en la captación de contaminantes puesto que son capaces de acumular metales pesados y otros contaminantes del aire (Guzmán, 2020).

### **2.3.3 Género relevante**

Vásquez (2008), menciona que el género *Sphagnum*, es el más destacado dentro de los musgos, dado que exhibe una considerable habilidad para retener y proporcionar agua, así también son conocidos como los briófitos que constituyen turberas; estos son ecosistemas vegetales que se desarrollan en áreas húmedas, con drenaje deficiente y bajos niveles de mineralización, donde la disponibilidad de oxígeno es limitada y los nutrientes son escasos. Crecen formando cojines y creando ambientes ácidos debido a su capacidad de intercambio catiónico, por lo cual proporcionan hábitats para una variedad de organismos acuáticos y terrestres, entre los cuales se incluyen aves, reptiles, anfibios, insectos y plantas, así también algunas especies de este género pueden tener propiedades antibacterianas y antifúngicas, ya que se han utilizado históricamente en la medicina tradicional para tratar diversas enfermedades (Salinas et al., 2021).

### **2.3.4 Amenazas para los musgos**

Guzmán (2020) menciona que los factores principales que representan una amenaza para la estabilidad en las comunidades de musgos incluyen la fragmentación causada por actividades humanas, la cual incide directamente en la pérdida de hábitat,



ya que, por factores como la deforestación, trazado de senderos y caminos, ocupación del suelo, agricultura, minería, urbanización, incendios forestales (quemadas locales y selectivas), entre otros; se destruyen los ecosistemas, desapareciendo en su totalidad grandes cantidades de biomasa y diversidad de especies. Así también la recolección excesiva con fines decorativos y comerciales puede agotar las poblaciones de musgos; junto a ello, la introducción de especies invasoras, pueden alterar las dinámicas del ecosistema en el que se encuentran los musgos, ya que estas compiten por recursos y espacio (Martínez et al., 2017). La contaminación también puede llegar a afectar el desarrollo de estos briófitos, debido a que estos absorben fácilmente los contaminantes del aire y del agua, lo que puede tener consecuencias negativas para todo el ecosistema en el que se encuentran (Santos y Gutiérrez, 2022).

## **2.4 Diversidad**

El término diversidad biológica o biodiversidad hace referencia a la variedad de organismos vivos en un hábitat o zona geográfica determinada, como consecuencia de los procesos evolutivos y ecológicos de genes, especies, ecosistemas y paisajes de los que forman parte (Bravo, 2014). Para medir la diversidad biológica de las especies de un área se puede utilizar tres tipos de diversidad, las cuales son, diversidad alfa ( $\alpha$ ); mide la diversidad a escala local, diversidad beta ( $\beta$ ); mide la diversidad a escala regional y diversidad gamma ( $\gamma$ ); mide la diversidad a escala de paisaje (Campo y Duval, 2014).

### **2.4.1 Diversidad alfa ( $\alpha$ )**

La diversidad alfa ( $\alpha$ ) se define por los autores Baselga y Gómez (2019), como la cantidad de especies que reside en un área específica, comúnmente un área pequeña y uniforme, así para la obtención de los índices de diversidad se pueden aplicar diversos índices, entre los cuales los más destacados son: índice de Simpson e índice de Shannon-Weaver.

Lozano y Esquivel (2016), en su estudio diversidad y claves de musgos en el páramo colombiano, evaluó la riqueza específica y la estructura para determinar la diversidad alfa, considerando tanto los índices de Margalef y Menhinick, como estimadores no paramétricos de Jackknife 1 y Bootstrap para la riqueza específica, por otro lado, para la estructura fue tomado en cuenta el índice de Simpson como medida de dominancia, mientras que el índice de Shannon-Wiener se utilizó como indicador de uniformidad. De igual manera, en la investigación de (Cataño et al., 2015), se determinó la diversidad alfa mediante la riqueza específica utilizando el índice de Margalef, enrarecimiento y el estimador Bootstrap, así también se usó los índices de abundancia; heterogeneidad y equidad.

#### **2.4.1.1 Índice de Shannon-Weaver**

Según Sgarlatta (2015), este índice es utilizado con mayor frecuencia para cuantificar la biodiversidad específica, puesto que el mismo indica la conexión entre la cantidad de especies presentes y la relativa abundancia de individuos, bajo la premisa de que estos factores afectan la diversidad de una comunidad. Permite determinar el grado promedio de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad, esto asumiendo que todos los individuos de dicha comunidad estén representados y se encuentren dentro de la muestra (Aguirre, 2013).

#### **2.4.1.2 Índice de Simpson**

Aguirre (2013), menciona que este índice expone la probabilidad de que dos individuos escogidos completamente al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie, así también hace énfasis en que el índice de Simpson se ve notablemente afectada por la relevancia de las especies que predominan en mayor medida. En la investigación realizada por Lozano y Esquivel (2016), se utilizó el índice de dominancia de Simpson como medida para establecer la estructura, que junto a la riqueza específica sirvió para determinar la diversidad alfa.

### **2.4.1.3 Índice de Margalef**

Es una medida utilizada en ecología para evaluar la diversidad específica o la riqueza de especies en un ecosistema, este índice proporciona una medida cuantitativa de la diversidad biológica, teniendo en cuenta tanto la cantidad de especies presentes como su abundancia relativa, cuanto mayor sea el valor del índice, mayor será la diversidad específica en el ecosistema evaluado (Manzanilla et al., 2020). Cataño et al. (2015), en su investigación titulada diversidad de hepáticas y musgos en turberas del nevado del Tolima en Colombia, utilizó el índice de Margalef para determinar la diversidad alfa por medio de la riqueza específica.

### **2.4.2 Diversidad beta ( $\beta$ )**

Para los autores Villareal et al. (2004), la diversidad beta o diversidad entre distintos hábitats, hace referencia a la medida del nivel de variación o sustitución en la composición de especies o el cambio biótico entre distintas comunidades, a través de gradientes ambientales, indicando el grado de similitud o disimilitud en la estructura de la comunidad, entre varios sitios dentro de una región geográfica.

En la investigación de Pedraza (2022), se estudió la estructura y composición de comunidades de musgos epífitos en un área de intervención del bosque andino en el municipio de Rondón, donde se determinó la similaridad entre zonas de muestreo mediante la diversidad beta y la utilización de los índices de similitud de Sorensen-Dice y Jaccard. Así también Lozano y Esquivel (2016), en su estudio de diversidad de musgos en el páramo colombiano de Anaimé utilizó el índice de Jaccard como medida de similitud para evaluar la diversidad beta entre las unidades fisionómicas muestreadas, utilizando la presencia o ausencia de las muestras de musgos encontradas.

#### **2.4.2.1 Índice de Jaccard**

Es una medida de la similitud entre dos conjuntos de muestras, utilizada comúnmente en ecología para calcular la similitud entre comunidades de especies en diferentes sitios o hábitats, este índice relaciona el número especies que tienen en

común dos muestras diferentes y el número de especies total que tiene cada una (Badii et al., 2008). Zepeda et al. (2014), en su estudio denominado diversidad de musgos epifitos de la zona metropolitana del valle de Toluca en México, emplearon el índice de similitud de Jaccard para evaluar el grado de similitud o asociación de especies entre las 16 áreas verdes que se incluyeron en el estudio, obteniendo como resultado que las diferentes zonas de muestreo presentan un bajo promedio de similitud, lo cual muestra que estas áreas difieren en cuanto a las especies que albergan.

## **2.5 Contenido hídrico**

Según los autores Argentel et al. (2006), el contenido hídrico hace referencia a la cantidad de agua presente en un sistema biológico tales como, una célula, un tejido o un individuo, este contenido de agua en los seres vivos es un indicativo importante de la hidratación y el estado de salud de estos, ya que el recurso agua es esencial para la mayoría de las funciones biológicas de los organismos. El contenido hídrico se puede medir de diferentes maneras, según el tipo de sistema biológico que se esté estudiando, algunos métodos comunes incluyen pesar la muestra antes y después del secado para determinar cuánta agua se ha perdido, como en el estudio de Merchán et al. (2011), donde se evaluó el contenido hídrico de las muestras de musgos colectadas en tres páramos colombianos, a partir de la cantidad de agua retenida por el musgo en base a su masa en los diferentes sustratos, determinándose que el sustrato suelo es el que presenta mayor contenido de agua en relación a otros sustratos.

### **2.5.1 Contenido hídrico en musgos**

Los musgos cuentan con características morfológicas y fisiológicas únicas que les confieren una alta capacidad para captar y retener agua en ambientes húmedos con suministros constantes de agua y humedad variable, lo que les ha permitido adaptarse a diferentes condiciones ambientales, donde se destaca su estructura celular hidrofílica, compuesta por células de gran volumen con paredes elásticas de gran afinidad por absorber moléculas de agua; estas células presentan también filamentos especializados, denominados hialocistos, que optimizan la retención de agua en su interior (Delgadillo,

2014). Asimismo, los musgos poseen rizoides, estructuras semejantes a raíces que están en contacto directo con el sustrato facilitando la absorción de agua; no obstante, sus filidios (hojas) y caulidios (tallos), también son capaces de retener humedad ambiental a través de su superficie, mediante la capilaridad.

En la investigación de Delao y Evangelista (2012), se determinó la habilidad de almacenamiento y retención de agua en un musgo del género *Sphagnum*, mediante la diferencia de pesos entre el musgo fresco y deshidratado en diferentes sustratos, determinándose que el musgo que se desarrolla en el sustrato arbóreo presenta mayor capacidad de almacenamiento de agua en comparación al musgo que se encuentra en los sustratos donde no existe presencia de cobertura arbórea ni arbustiva.

## **2.6 Marco Legal**

### ***2.6.1 Constitución de la República del Ecuador***

En el presente trabajo de investigación se aplicó los artículos vinculados a los principios y derechos ambientales enmarcados en la Constitución de la República del Ecuador (2008); el Artículo 14 del Título II de Derechos, manifiesta acerca de la preservación y conservación de la biodiversidad del país, impulsando la prevención de daños ambientales y la restauración de áreas naturales degradadas; los Artículos 71, 72 y 73 hacen referencia a los derechos ambientales, teniendo al Estado y la ciudadanía como los llamados a preservar, conservar y restaurar la naturaleza; mediante la adopción y aplicación de medidas para salvaguardar y limitar las actividades que puedan resultar en la extinción de especies.

El Título VII del Régimen del Buen Vivir, en el Artículo; 395 hace hincapié a que el Estado será el ente encargado de garantizar una estrategia de crecimiento sustentable que permita conservar y preservar los bienes naturales para las actuales y futuras generaciones; en el Artículo 397 resalta que el Estado actuará de manera inmediata en caso de que existan daños ambientales, sancionando a aquellos involucrados en la actividad que produjera tal daño, garantizando la salud y la

recuperación de los ecosistemas; el Artículo 400 recalca que la conservación de la diversidad biológica y todos sus elementos será de interés público; en el Artículo 406 se identifica al Estado como la entidad a cargo de regular la preservación, recuperación, utilización y gestión sostenible de los ecosistemas vulnerables y en peligro, tales como los páramos (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

## ***2.6.2 Tratados y convenios internacionales***

### **2.6.2.1 Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES)**

Entró en vigor en 1975, tiene por objetivo velar por que el comercio internacional de especímenes de fauna y flora silvestres, en sus numerosas, bellas y variadas formas constituyen un elemento irremplazable de los sistemas naturales de la tierra, tienen que ser protegidas para esta generación y las venideras, así la protección de las especies silvestres, que por su amenaza de extinción en vida silvestre o por su vulnerabilidad a ello, puedan ser afectadas por el comercio (Ardila et al., 2018).

### **2.6.2.2 Convenio de Ramsar**

Entró en vigor en 1991 en el país, tiene por objetivo la conservación y el uso racional de los humedales, a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional, a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo (Chilán, 2022).

### **2.6.2.3 Convenio sobre la diversidad biológica**

Entró en vigor en 1993, tiene por objetivo lograr la conservación de la diversidad biológica mediante el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de la utilización de la utilización de los recursos genéticos (Drouet, 2010).

### **2.6.3 Leyes Orgánicas**

#### **2.6.3.1 Código Orgánico del Ambiente**

En el Libro Segundo del Patrimonio Natural del Código Orgánico del Ambiente CODA (2017), específicamente en el Título I sobre la Conservación de la Biodiversidad, el Artículo 30 presenta los objetivos del Estado en relación la diversidad biológica, resaltando entre ellos la preservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, proteger y regular el acceso a los recursos biológicos, promover la investigación científica, salvaguardar y revitalizar la sabiduría ancestral, y demás aspectos relacionados a la biodiversidad de la naturaleza.

Dentro del Título VI del Régimen Forestal Nacional en el Artículo 94 se manifiesta que la prohibición de convertir el uso de suelo a usos agropecuarios en áreas de bosque natural y ecosistemas vulnerables; el Artículo 99 hace mención a que la conservación, protección y restauración de los páramos será de interés público, por lo cual a afectación a los mismos será sancionado conforme la ley los disponga; así también en el Artículo 100 se destaca que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales o Municipales serán los encargados de establecer proyectos, programas y afines, con la finalidad de brindar un uso sostenible, conservar, proteger y restaurar el ecosistema páramo considerando tanto sus características ecosistémicas ecológicas, biológicas, hídricas como culturales, económicas y sociales (CODA, 2017).

#### **2.6.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua**

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), en el Título II de Recursos Hídricos hace referencia a que el Estado y sus diferentes niveles de gobierno serán los entes encargados de destinar fondos y asistencia técnica necesaria para garantizar la protección, restauración y conservación de las fuentes de agua y sus áreas de influencia; así también dentro del Título III de Derechos, Garantías y Obligaciones se hace énfasis en la conservación del agua, mediante la protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas donde tienen

origen las fuentes hídricas tales como páramos, nevados, glaciares, humedales y manglares.

#### ***2.6.4 Ordenanzas Municipales***

##### **2.6.4.1 Ordenanza bicantonal para la protección y conservación de la zona de Mojanda**

El GADMPPM, impulsó la aprobación de esta ordenanza como parte de la administración de los bienes naturales entre el GAD municipal de Pedro Moncayo y el de Otavalo; con el fin de conservar alrededor de 10 000 hectáreas ubicadas a partir de los 3 000 m.s.n.m. hasta la cima más elevada del nudo de Mojanda – Cajas, así también, se estableció un área de conservación a partir de los 3 200 m.s.n.m., donde queda completamente prohibido la realización de actividades antrópicas que puedan causar algún tipo de alteración o daño que afecte el patrimonio natural (GADMPPM y GADMO, 2002).



# CAPÍTULO III

## Marco Metodológico

### 3.1 Descripción del área de estudio

El páramo de Mojanda se localiza en la cordillera de los Andes en el norte de Ecuador, abarcando áreas de las provincias de Pichincha e Imbabura, específicamente en los cantones de Pedro Moncayo y Otavalo (Figura 1); esta región de páramo presenta una extensión total aproximada de 25 000 hectáreas y se desarrolla en una variación altitudinal que va desde los 2 500 m.s.n.m. hasta los 4 260 m.s.n.m. (Calderón, 2018).

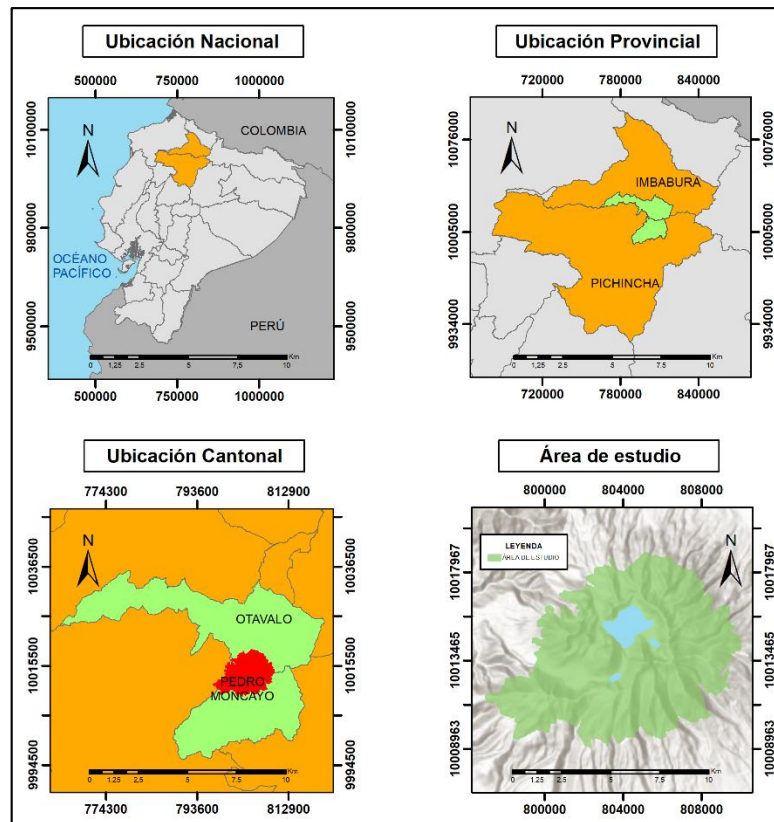


Figura 1. Ubicación del páramo de Mojanda

### ***3.1.1 Condiciones climáticas***

Las condiciones climáticas en la región de Mojanda son notablemente diversas debido a su variada topografía y altitud; en las áreas de mayor altitud, como el páramo, se experimenta un clima frío durante la mayor parte del año, con temperaturas que oscilan entre los 4° C hasta los 12.8°C, que a menudo descienden por debajo de cero durante la noche (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2015).

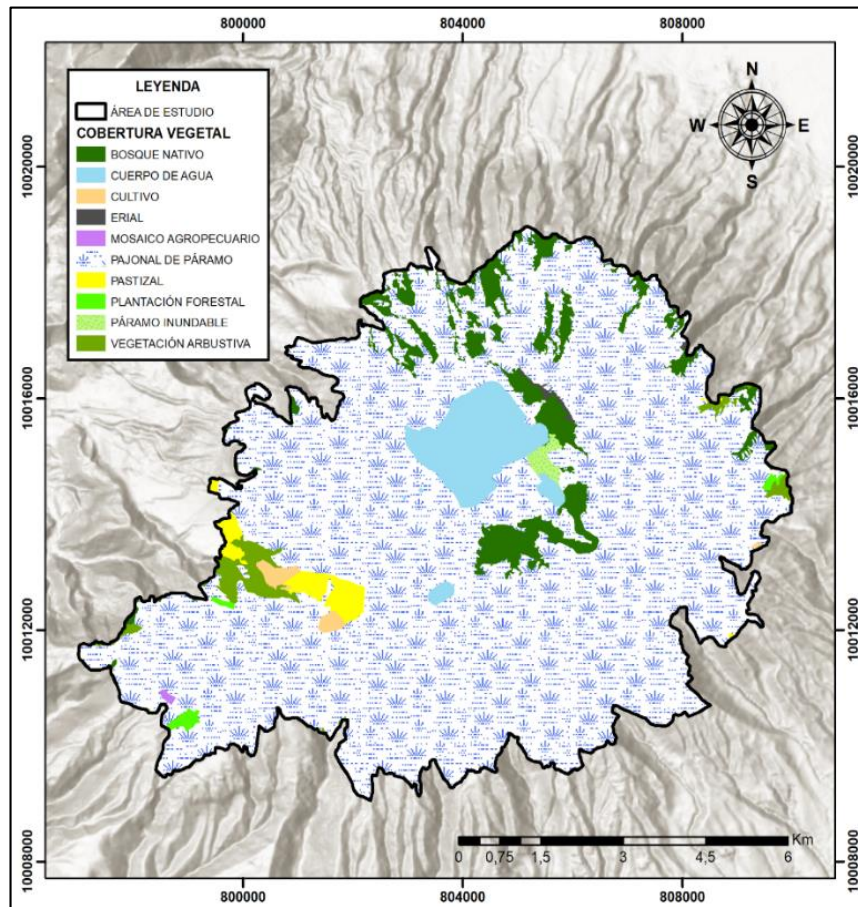
La radiación solar en la zona de Mojanda es intensa debido a la altitud, lo que contribuye a la rápida evaporación de la humedad durante el día; las condiciones climáticas, como la presencia de nubes, temporada del año y hora del día, pueden influir en la heliofanía, cuyo promedio anual de irradiación solar es de 5 061 w/m<sup>2</sup> por día; mientras que el promedio de evapotranspiración que registra el área es de aproximadamente 625 mm por año (Mendoza, 2017).

El régimen hídrico en la zona exhibe variaciones temporales, con niveles de precipitación que oscilan entre 1 000 mm y 1 500 mm anuales; los meses de abril y noviembre destacan como los más lluviosos, confiriéndole un carácter subhúmedo o identificando esta temporada como la época de lluvias (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013). Por otro lado, el régimen hídrico seco está caracterizado por precipitaciones que van desde los 750 mm a los 1 000 mm por año, correspondientes a los meses de junio, julio y agosto que presentan los niveles más bajos (Calderón, 2018).

### ***3.1.2 Cobertura vegetal y uso de suelo***

Debido a las condiciones climáticas que presenta la zona de estudio, esta da origen diversas formaciones vegetales, tales como: páramo de pajonal, bosque natural, vegetación arbustiva, vegetación herbácea, erial y vegetación de las turberas o bofedales, esta última es de gran importancia ya que actúan como una esponja natural que retiene el agua y libera lentamente el exceso, mientras que en las zonas de uso antrópico se desarrollan actividades como: plantaciones forestales, cultivos, pastizales

y mosaico agropecuario (Ruiz, 2017). Así también, abarca el complejo lagunar denominado lagunas de Mojanda (Figura 2).



**Figura 2.** Cobertura vegetal y uso de suelo del páramo de Mojanda

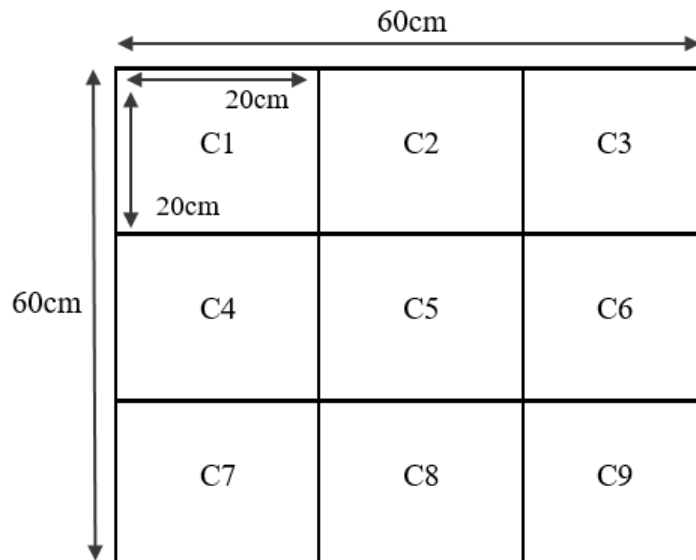
## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Caracterización de la diversidad de musgos

La recolección de información consistió en la obtención de bibliografía relacionada con la importancia, características, hábitat y otros datos importantes de los musgos, así también se obtuvo información cartográfica del área de estudio que fue obtenida de portales web (Instituto Geográfico Militar, 2013; Sistema Nacional de Información s.f.). La delimitación geográfica del área de investigación se llevó a cabo en el software de información geográfica ArcGIS versión 10.8, donde se creó mapas

cartográficos con el propósito de identificar los límites políticos y el área específica de estudio. Para identificar y explorar la zona de investigación, se realizó salidas de campo, donde se recorrió e identificó la presencia de musgos en el páramo, mediante GPS se asignó coordenadas y puntos de muestreo en las zonas con presencia de musgos tanto en suelo, roca y corteza de árboles, dichos puntos sirvieron para la identificación de los sitios de muestreo en el área de estudio (Delao y Evangelista, 2012).

Para caracterizar la diversidad de musgos en el páramo de Mojanda se utilizó el muestreo por cuadrícula (cuadrados de Braun-Blanquet) (Figura 3), el cual consistió en el uso de una cuadrícula de 60cm x 60cm dividida en cuadrados de tamaño fijo de 20cm x 20cm para evaluar la abundancia y distribución de musgos en los cuatro sitios de colección de muestras, esta cuadrícula se colocó en las comunidades o colonias de musgos observadas durante el recorrido por cada sitio de muestreo, sobre el suelo o el sustrato donde crecen los musgos. Dentro de cada cuadrado, se registraron las especies de musgos presentes y se evaluó su cobertura o abundancia relativa mediante una escala numérica de porcentaje, la cual abarca desde el valor 1, que indica una presencia mínima, hasta el valor 9, que representa una presencia máxima (Delgadillo et al., 2022).



**Figura 3.** Diseño de cuadrícula para caracterizar la diversidad de musgos

### 3.2.1.1 Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies permitió la validación de muestreos para evaluar la riqueza de especies en los sitios de muestreo, esta curva muestra cómo el número de especies encontradas aumenta a medida que se toman más muestras o se incrementa el esfuerzo de muestreo (Villa et al., 2018). Para analizar la curva de acumulación de especies, se utilizan diferentes estimadores de diversidad, obteniendo así una estimación de la riqueza total de especies en el área; Alberca y Aponte (2021), mencionan que estos estimadores se basan en datos de muestreo y tienen en cuenta el número de especies observadas y la distribución de abundancia de las especies; los estimadores de diversidad que se utilizaron fueron ACE, CHAO 1 y Jack 1.

### 3.2.1.2 Cálculo del índice de equidad de Shannon-Wiener

El Índice de Shannon -Wiener ( $H'$ ), se utiliza para medir la diversidad de una comunidad, lo cual indica la variabilidad o heterogeneidad presente en ella, la fórmula utilizada para calcular esta diversidad, según el estudio de Manzanilla et al. (2020) es la siguiente:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$H'$ : índice de diversidad de Shannon.

$s$ : número de especie presentes.

$p_i$ : proporción de la muestra a la especie  $i$ .

$\ln$ : logaritmo natural.

### 3.2.1.3 Cálculo del índice de dominancia de Simpson

El índice de diversidad de Simpson ( $D$ ) es una medida utilizada para evaluar si una comunidad está compuesta por especies altamente abundantes, este índice asigna importancia a los taxones con valores de abundancia más altos al elevar al cuadrado las abundancias de cada uno y luego sumarlas, enfocándose en resaltar la presencia de

especies que son significativamente más abundantes en la comunidad, así pues, este índice se calculó mediante la fórmula propuesta por Salmerón et al. (2017):

$$D = \sum Pi^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

*D*: índice de diversidad de Simpson.

*Pi*: proporción de las especies *i* en la comunidad ( $n_i / N$ ).

*ni*: número de individuos de la especie *i*.

*N*: número total de individuos.

#### **3.2.1.4 Cálculo del índice de Margalef**

El índice de riqueza de Margalef ( $D_{Mg}$ ) es una medida utilizada para determinar la biodiversidad de una comunidad, basada en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies, en relación con el número total de individuos presentes en la muestra analizada (Manzanilla et al., 2020). Este índice se determinó a través de la siguiente fórmula la cual integra tanto el número de especies (*S*) como el número total de individuos (*N*):

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$D_{Mg}$ : índice de diversidad de Margalef.

*s*: número de especie presentes.

*ln*: logaritmo natural.

*N*: número total de individuos.

### 3.2.1.5 Cálculo del índice de similitud de Jaccard

Se aplicó el índice de similitud de Jaccard para determinar el grado de similitud entre las zonas de estudio utilizando el número de especies comunes encontradas y el número total de especies, obteniendo así una estimación del nivel de similitud o concordancia en la composición de especies entre las zonas de estudio, mediante la aplicación de la siguiente fórmula (Muñoz, 2023).

$$Ij = \frac{c}{a+b+c} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

*Ij*: índice similitud de Jaccard.

*a*: número total de individuos únicos en el sitio A.

*b*: número total de individuos únicos en el sitio B.

*c*: número de especies comunes entre los dos sitios.

### 3.2.1.6 Colecta de musgos

En cuanto a la colecta de muestras estas se realizaron en los meses lluviosos de la zona de Mojanda, el cual de acuerdo con la investigación de Maynaguez y Tumbaco (2019), corresponden a todos los meses excepto junio, julio y agosto. Para la toma de muestras se utilizó la metodología utilizada en el estudio de Ríos (2017), la cual consiste en la colecta de cada especie visualizada en los sitios de estudio, con el uso de una navaja para separar los especímenes de su sustrato, cada muestra colectada tuvo un tamaño promedio de 7 x 7cm, cuya referencia principal fue que la muestra cubra un área similar a la palma de la mano del colector. Para cada especie de musgo se colectó dos muestras, de las cuales una de ellas fue destinada para determinar la especie e índice de diversidad y la otra muestra se utilizó en la determinación del contenido hídrico, estas muestras una vez extraídas se procedieron a depositar en bolsas plásticas herméticas, las cuales se etiquetarán con los datos de colecta, tales como: número de

colecta, peso del musgo fresco, ubicación y tipo de sustrato, los datos de colecta también se anotaron en libretas de campo (Freire et al., 2004).

### **3.2.1.7 Identificación de las muestras**

La identificación de las muestras de musgo colectadas se llevó a cabo utilizando claves taxonómicas sugeridas por diversos autores especializados en el campo tales como Churchill y Linares (1995), Gradstein et al. (2001) y Lozano y Esquivel (2016), estas claves taxonómicas son herramientas que presentan una serie de características y preguntas que permiten guiar el proceso de identificación, cada clave ofrece opciones que conducen a diferentes niveles taxonómicos, lo que permite la identificación de los musgos. A su vez, se recurrió a recursos especializados, como guías de campo propuestas por León et al. (2014), Parra et al. (1999) y Campos et al. (2008), que contienen descripciones detalladas e ilustraciones específicamente diseñadas para la identificación de los musgos.

Así también, para la identificación de musgos se utilizaron plataformas virtuales especializadas en la identificación de musgos, tales como: Bryophyte Portal, British Bryological Society, Tropicos, GBIF, iNaturalist, Asturnatura, Musgos de Chile, colecciones en línea del Herbario Nacional Colombiano de la Universidad Nacional de Colombia propuesta por Martínez (2020), entre otras plataformas que permitieron identificar los musgos colectados. En la fase de laboratorio, realizada en el laboratorio de investigaciones ambientales (LABINAM), de la Universidad Técnica del Norte, con la ayuda de un estereoscopio Leica MDG33, se observaron las muestras de musgos y se capturaron fotografías de las estructuras relevantes de los musgos, con el fin de ayudar con la identificación de estos, para esto se dispuso de una de las dos muestras obtenidas en la colecta destinada para la identificación (Merchán et al., 2011).



### 3.2.2 *Contenido hídrico de las muestras colectadas*

#### 3.2.2.1 **Determinación del peso de musgos en campo**

Para determinar el peso del musgo en fresco, una vez colectadas las muestras se procedieron a pesar en mismo lugar con la ayuda de una balanza portátil, en este procedimiento se utilizó la muestra destinada para la determinación del contenido hídrico (Merchán et al., 2011).

Con el objetivo de conservar las muestras colectadas se procedió a introducir las mismas en bolsas de plástico con cierre hermético, las cuales se etiquetaron con los datos de colecta mencionados anteriormente, así también para el transporte hacia laboratorio se utilizó cajas de transporte, en las cuales se colocarán las bolsas con los musgos cuidadosamente asegurándose de que estos estén distribuidos de manera uniforme y no estén demasiado apretados evitando así aplastarlos o dañarlos, esto sirvió para evitar; la exposición directa a la luz solar, entrada indeseada de aire o humedad, altas o bajas temperaturas, procurando mantener una temperatura estable para el transporte (Domínguez, 2014).

#### 3.2.2.2 **Determinación de la capacidad de retención de agua en musgos**

Una vez determinado el peso *in situ*, se procedió a transportadas al laboratorio, ahí el material colectado se secó a temperaturas de 75°C durante 48 horas en una estufa Memmert modelo SBN-400, una vez secas fueron pesadas nuevamente (Merchán et al., 2011).

Para determinar la capacidad de retención de agua de los musgos se adaptó la fórmula propuesta por (Coelho et al., 2023).

$$CRA = \frac{PMF}{PMS} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

CRA: capacidad de retención de agua de la muestra.

PMF: peso de la muestra de musgo fresco.

PMS: peso de la muestra de musgo seco.

### 3.2.2.3 Determinación de la capacidad máxima de retención de agua en musgos

Para determinar la capacidad máxima de retención de agua, se utilizó la misma muestra de musgo fresco anterior a la deshidratación en la estufa, la cual se sumergió en agua durante un tiempo de 10 minutos, asegurándose de que toda la muestra esté completamente sumergida, transcurrido el tiempo se sacaron las muestras de musgo del agua y se dejó escurrir durante 3 o 4 minutos para eliminar el exceso de agua de la superficie y se procedió a pesar y anotar dicho peso, para calcular la capacidad máxima de retención de agua se utilizó la fórmula propuesta por (Coelho et al., 2023).

$$CMRA = \frac{PMH}{PMS} \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

CMRA: capacidad máxima de retención de agua de la muestra.

PMH: peso de la muestra de musgo hidratado.

PMS: peso de la muestra de musgo seco.

Para evaluar la capacidad máxima de retención de agua de los musgos colectados se realizó una comparación de varias muestras agrupando los musgos por el grupo taxonómico orden mediante la prueba paramétrica análisis de varianza (ANOVA), con el fin de determinar diferencias estadísticas entre los mismos. Para confirmar los resultados obtenidos en este análisis, se aplicó una prueba de comparaciones en parejas de Tukey, la cual organiza las medias asignando letras a los grupos que difieren entre sí; adicionalmente se realizó la prueba de igualdad de varianzas y se verificó la normalidad de los residuos con la prueba de Anderson

Darling. Además, se llevó a cabo una prueba de múltiples rangos con el objetivo de agrupar los órdenes de musgos en grupos homogéneos y determinar las diferencias significativas entre estos grupos específicos, permitiendo agrupar los órdenes con comportamientos similares de retención de agua, así como discriminar aquellos cuyas medias de capacidad hídrica difieren sustancialmente. Este análisis se realizó mediante una segunda prueba de ANOVA, utilizando el software estadístico Statgraphics.

### 3.2.3 *Diseño de estrategias para la conservación musgo en el páramo*

Para definir las estrategias de conservación de musgos se propone utilizar una matriz de Vester destinada a abordar los problemas identificados a través de la implementación de actividades específicas.

#### 3.2.3.1 **Matriz de Vester**

La matriz de Vester es un instrumento que facilita la identificación del problema o conflicto y la relación de las causas y efectos de una situación problema, para relacionar y enfrentar los variables (problemas) entre sí (Basantes, 2018). Se utilizará los criterios de calificación descritos en la (Tabla 1).

**Tabla 1.** Criterios de calificación de acuerdo con la influencia

Calificación	Influencia
0	No causal (los problemas no tienen vínculo alguno).
1	Causalidad débil (influencia indirecta de un problema sobre otro).
2	Causalidad media (baja influencia directa de un problema sobre otro).
3	Causa fuerte (alta influencia directa de un problema sobre otro).

**Fuente:** Narváez (2021).

La representación gráfica del resultado de la matriz de Vester se observa en un plano cartesiano, donde el eje (x) refleja la relación dependencia/consecuencia y el eje (y) muestra la relación influencia/causalidad.

La clasificación de los problemas según el cuadrante correspondiente se llevó a cabo utilizando los criterios detallados en la (Tabla 2).

**Tabla 2.** Criterios para la clasificación de los problemas

Cuadrantes	Clasificación	Descripción
I	Críticos	Incluyen problemas con una considerable causalidad.
II	Pasivos	Problemas con influencia limitada, pero que dependen de la presencia de otros problemas. Estos presentan un bajo grado de protagonismo y un elevado grado de pasividad.
III	Indiferentes	Involucra problemas con bajo nivel de pasividad y activismo, es decir, no ejercen ni reciben influencia de otros problemas. Se consideran de menor importancia.
IV	Activos	Corresponde a problemas con un bajo grado de pasividad, pero un alto grado de activismo.

**Fuente:** Narváez (2021).

### 3.3 Materiales y equipos

A continuación, en la (Tabla) 3 se describen los equipos y materiales a utilizados durante la investigación.

**Tabla 3.** Materiales, equipos y software a empleados en el estudio

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos	Software
Bolsas plásticas	Estereoscopio	GPS	ArcGIS 10.8
Esfero	Balanza portátil	Computador	PAST 4.04
Libreta	Estufa		EstimateS 9.1.0
Navaja			Minitab 17
Cuadrícula			Statgraphics
Lupa			GraphPad Prism 8
Marcador			

## CAPÍTULO IV

### Resultados y Discusión

#### 4.1 Identificación y selección de sitios de muestreo

Con base en la metodología para el muestreo y colección de musgos en el páramo, se establecieron cuatro sitios de muestreo estratégicos (Tabla 4), mismos que cumplen con condiciones tales como: accesibilidad para recolectar información, priorizando pasar por las zonas menos afectadas por intervención humana, incluyendo los sustratos suelo, roca y corteza de árboles, que facilite el registro de la mayor diversidad de especies presentes en el sitio; estos sitios de muestreo fueron georreferenciados mediante GPS (Lozano y Esquivel, 2016).

**Tabla 4.** Sitios de muestreo

Sitio	Unidad Fisionómica	Altura (msnm)	Coordenadas	
			UTM, WGS_1984_Zona17S. X	Y
Sitio 1	Bosque siempreverde del páramo	3 743	805721,8693	10015480,5
Sitio 2	Herbazal inundable del páramo	3 737	805358,4456	10014867,97
Sitio 3	Arbustal siempreverde y herbazal del páramo	3 949	805188,4123	10012907,32
Sitio 4	Herbazal del páramo	3 715	802881,9621	10015827,63

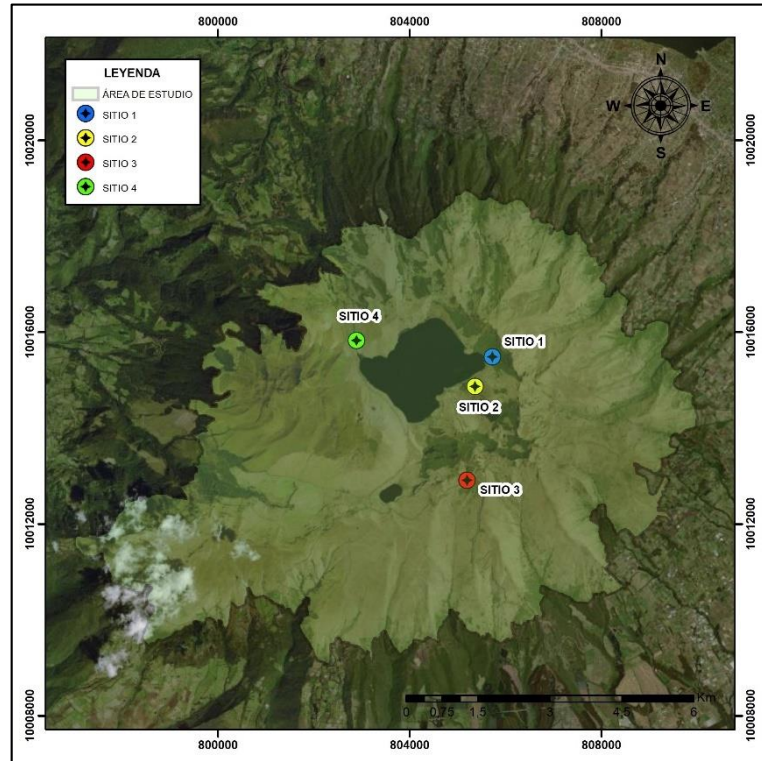
El sitio 1 el cual pertenece a la unidad fisionómica bosque siempreverde del páramo, es un ecosistema de ladera con pendiente abrupta que se encuentra en forma de parche aislado rodeado de vegetación herbácea y arbustiva, se caracteriza por ser una zona de acceso limitado, ya que no existe un sendero marcado; posee árboles de entre 4 a 7 metros de altura, de cobertura densa y troncos que crecen de forma torcida y ramificada, cubiertas por briófitos, líquenes y plantas epifitas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). Debido a las condiciones climáticas y la densidad de los bosques, este ecosistema dispone de una alta humedad ambiental, en sus suelos se encuentran comunidades de musgos formando colchones.

El sitio 2 forma parte de la unidad fisionómica herbazal inundable del páramo, también denominado como turberas o bofedales, este constituye un ecosistema plano o levemente inclinado, el cual se encuentra constantemente inundado o saturado de agua corriente; se distinguen por la presencia de vegetación adaptada a la alta humedad como las asociaciones de plantas conocidas como almohadillas principalmente especies de la familia Asteraceae y Rosaceae; y por su considerable capacidad de retención de agua por lo que actúa como reservorio natural y regulador del ciclo hidrológico; además en el sitio se encuentra exceso de materia orgánica la cual se descompone lentamente por las bajas temperaturas (Terán et al, 2019). Esta zona se sitúa cerca al área principal donde se desarrolla el turismo, en la orilla de la laguna existe evidencia de construcciones con fines piscícolas para el aprovechamiento de la esorrentía típica del lugar.

El sitio 3 pertenece a la unidad fisionómica arbustal siempreverde y herbazal del páramo, es un ambiente de ladera escarpada con pendiente pronunciada en el cual se encuentran pequeños parches arbustales de hasta 3 metros de altura rodeados de vegetación herbácea principalmente pajonales de hasta 1,2 metros; se caracteriza por ser una zona atravesada por una vía y la presencia de un sendero marcado que es utilizado por los turistas para subir a la cima de la montaña con fines recreativos (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). Este entorno se caracteriza por la presencia continua de neblina por lo que cuenta con un ambiente húmedo; la vegetación de la zona está compuesta comúnmente por pequeños arbustales, *Calamagrostis intermedia*, *Polylepis incana* cercando la vía, entre otras.

El sitio 4 perteneciente la unidad fisionómica herbazal del páramo, es un ecosistema dominado por herbazal denso principalmente pajonal mayor a 50 cm de altura; posee condiciones climáticas de alta humedad lo cual le permite contener una gran cantidad de agua y ser un excelente regulador hídrico: las especies más comunes en este sitio fueron *Calamagrostis intermedia* y *Cortaderia nítida*.

En la (Figura 4), se indican los cuatro sitios en los que se realizó el muestreo y colección de musgos en páramo de Mojanda.



**Figura 4.** Sitios de muestreo y colección de musgos

## 4.2 Riqueza de musgos

En los cuatro sitios de muestreo se reportaron 22 especies de musgos distribuidos en 18 géneros, 15 familias y 7 órdenes, estos se detallan en la (Tabla 5).

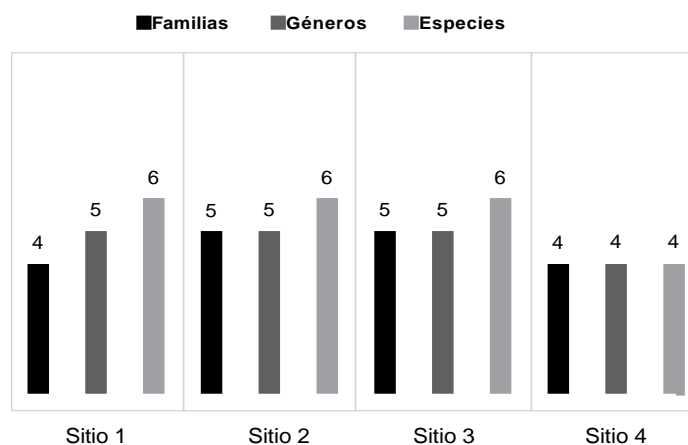
**Tabla 5.** Listado de especies de musgos colectados por sitios de muestreo

Orden	Familia	Género	Especie	S1	S2	S3	S4
Bartramiales	Bartramiaceae	Breutelia	<i>Breutelia sp1.</i>	X			
			<i>Breutelia sp2.</i>	X			
Bryales	Bryaceae	Bryum	<i>Bryum sp1.</i>		X		
			<i>Bryum sp2.</i>		X		
Dicranales	Archidiaceae	Ceratodon	<i>Ceratodon sp.</i>			X	
	Dicranaceae	Holomitrium	<i>Holomitrium sp</i>			X	
		Dicranella	<i>Dicranella sp.</i>	X			
		Dicranum	<i>Dicranum sp.</i>	X			

	Leucobryaceae	Campylopus	<i>Campylopus sp1.</i> <i>Campylopus sp2.</i>	X	X
Hypnales	Brachytheciaceae	Platyhypnidium	<i>Platyhypnidium sp.</i>	X	
	Hypnaceae	Hypnum	<i>Hypnum sp.</i>		X
	Hylocomiaceae	Pleurozium	<i>Pleurozium sp.</i>		X
	Neckeraceae	Neckera	<i>Neckera sp.</i>	X	
	Pylaisiaceae	Calliergonella	<i>Calliergonella sp.</i>		X
	Scorpidiaceae	Scorpidium	<i>Scorpidium sp.</i>	X	
	Thuidiaceae	Thuidium	<i>Thuidium sp.</i>		X
Polytrichales	Polytrichaceae	Polytrichadelphus	<i>Polytrichadelphus sp1.</i> <i>Polytrichadelphus sp2.</i>		X X
		Polytrichum	<i>Polytrichum sp.</i>		X
Pottiales	Pottiaceae	Pseudocrossidium	<i>Pseudocrossidium sp.</i>	X	
Sphagnales	Sphagnaceae	Sphagnum	<i>Sphagnum sp.</i>	X	

#### 4.2.1 Distribución por sitio

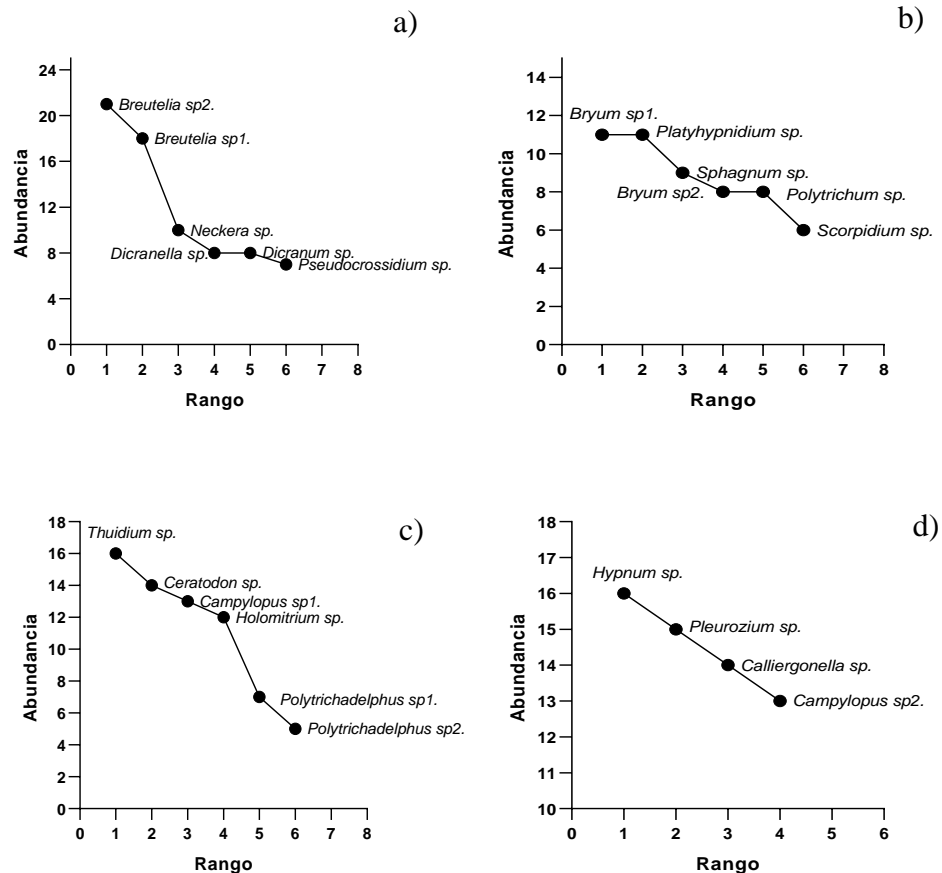
En relación con la distribución por sitio en la (Figura 5), se observan los diferentes patrones de diversidad de musgos. En el sitio 1, se identificaron 4 familias, dentro de las cuales se incluían en 5 géneros y 6 especies. Por su parte, en el sitio 2, se encontraron 5 familias, distribuidas en 5 géneros y 6 especies; mientras que en el sitio 3 se hallaron también 5 familias, pero repartidas en 5 géneros y 6 especies. Finalmente, en el sitio 4, se registraron 4 familias presentes en 4 géneros y 4 especies. Estos resultados reflejan variaciones en la composición brioflorística de musgos entre los diferentes sitios de muestreo.



**Figura 5.** Distribución de musgos en familias, géneros y especies por sitio de muestreo



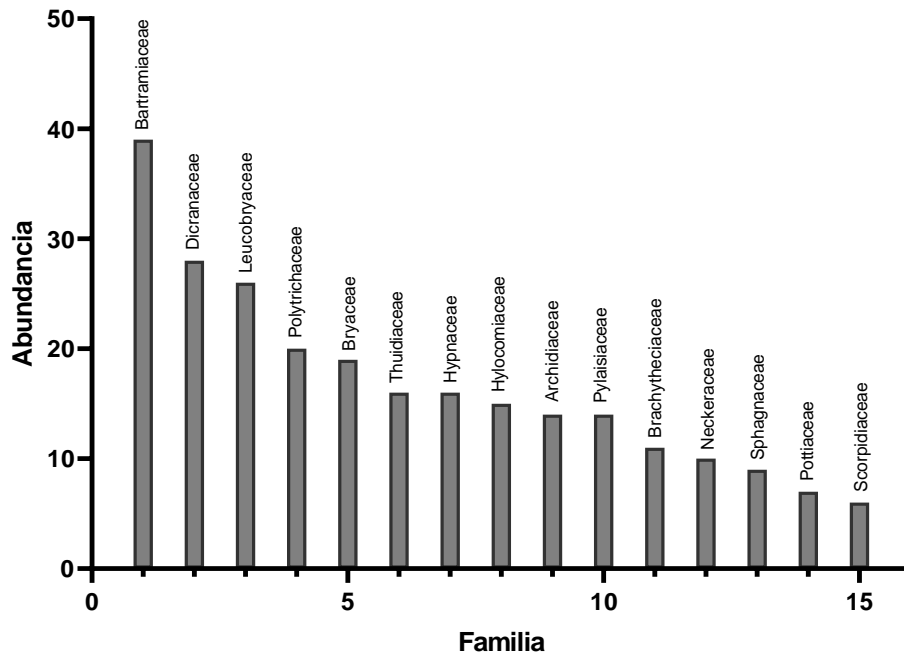
Las gráficas rango-abundancia de musgo (Figura 6), muestra la dominancia de las distintas especies de musgos registradas en los 4 sitios donde se muestrearon, de la siguiente manera; en el sitio 1 perteneciente a la unidad fisionómica bosque siempreverde del páramo se evidenció la dominancia de *Breutelia sp2.*, mientras que *Pseudocrossidium sp.* fue la especie menos dominante; en el sitio 2 correspondiente a la unidad fisionómica herbazal inundable del páramo se encontró que *Bryum sp1.* fue la especie más dominante, en contraste, *Scorpidium sp.* fue la menos dominante. En el sitio 3 perteneciente a la unidad fisionómica arbustal siempreverde y herbazal del páramo *Thuidium sp.* fue la especie que más dominancia presentó, mientras que *Polytrichadelphus sp2.* presentó la menor dominancia. Finalmente, en el sitio 4 correspondiente a la unidad fisionómica herbazal del páramo la especie con mayor dominancia en el área fue *Hypnum sp.*, por otro lado, la especie de menor dominancia fue *Campylopus sp2.*



**Figura 6.** Abundancia de musgos por sitio a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4

#### 4.2.2 *Abundancia de musgos por familia*

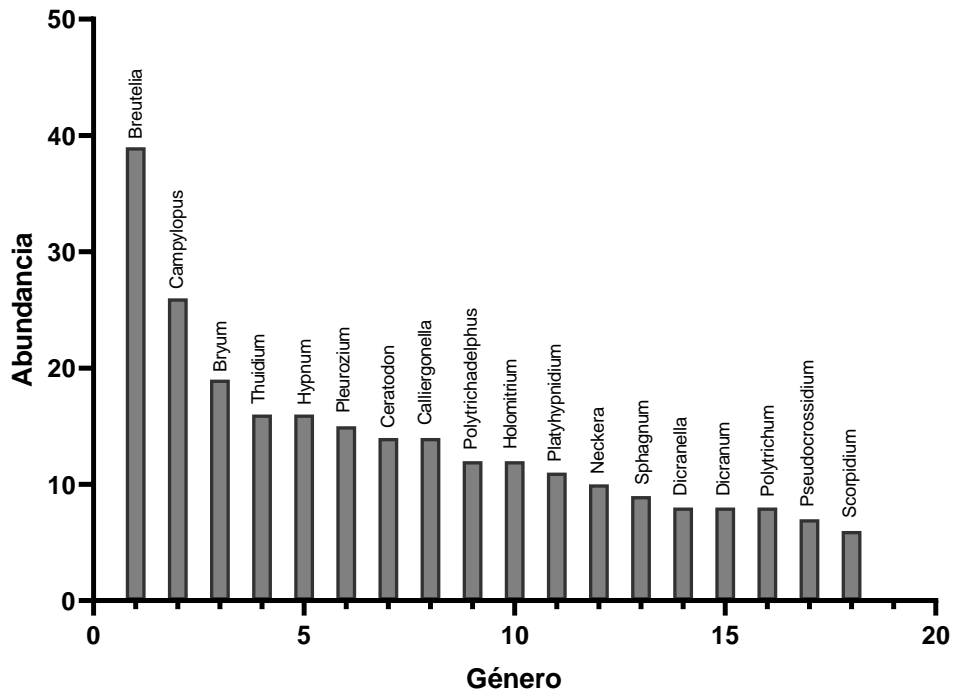
Las familias más representativas en cuanto a la abundancia son Bartramiaceae, Dicranaceae, Leucobryaceae, estas se detallan en la (Figura 7), donde se relaciona la abundancia y las familias de musgos presentes en el páramo de Mojanda. En el estudio de Toapanta (2011), menciona que en el Ecuador se han encontrado 223 especies de musgos distribuidas en 116 géneros y 48 familias, donde las familias más representativas han sido Dicranaceae, Pilotrichaceae, Bryaceae y Bartramiaceae. En la investigación de Guzmán y Esquivel (2016), en el páramo de Anaime, se registró un total de 19 familias, de las cuales las más representativas fueron Bartramiaceae, Orthotrichaceae, Hypnaceae y Dicranaceae. Martínez et al. (2019), en el complejo de páramos Guantiva-La Rusia en los departamentos de Boyacá y Santander (Colombia), registraron 36 familias de musgos, de las que se destacaron familias Dicranaceae, Pottiaceae, Hypnaceae, Sematophyllaceae y Bryaceae las más ricas en cuanto a géneros y especies.



**Figura 7.** Relación abundancia-familias en musgos de Mojanda

#### 4.2.3 Abundancia de musgos por géneros

Los géneros de mayor abundancia que se registraron fueron *Breutelia*, *Campylopus* y *Bryum*, estos géneros se encuentran distribuidos en la (Figura 8), donde se relaciona la abundancia y los géneros de musgos presentes en el páramo de Mojanda. De acuerdo a Porras y Morales (2020), estos géneros presentan mayor abundancia y presencia en los páramos ya que presentan diversas características ecológicas y adaptaciones específicas que les permiten prosperar en este ecosistema de páramo bajo condiciones extremas como las bajas temperaturas, alta humedad y alta radiación solar; además sus capacidades tanto para colonizar rápidamente y formar colonias densas como ser resilientes ante ciertos tipos de perturbaciones naturales o antropogénicas, les permite recuperarse y persistir en el páramo contribuyendo a una mayor abundancia y ventaja competitiva en este ambiente.



**Figura 8.** Relación abundancia-géneros en musgos de Mojanda

Guzmán y Esquivel (2016), en su investigación realizada acerca de la diversidad y claves para musgos en el páramo colombiano de Anaime, municipio de Cajamarca, documentaron la presencia de 31 géneros de musgos, dentro de estos géneros, se identificó que *Campylopus*, *Breutelia* y *Macromitrium* fueron los más representativos, ya que contaban con la mayor cantidad de especies registradas en el área de investigación. Por otro lado, Martínez et al. (2019), en su estudio denominado los musgos en el complejo de páramos Guantiva-La Rusia en los departamentos de Boyacá y Santander (Colombia), identificaron la presencia de 72 géneros de musgos, dentro de estos géneros, se destacaron *Campylopus*, *Breutelia*, *Leptodontium*, *Sematophyllum* y *Neckera* como los más prominentes en términos de abundancia y diversidad de especies en el área de estudio.

#### ***4.2.4 Abundancia de musgos por especies***

Las especies de mayor abundancia registradas en el páramo de Mojanda fueron las especies *Breutelia sp1*, *Breutelia sp2.*, mientras que las especies menos abundantes fueron *Pseudocrossidium sp.* y *Scorpidium sp.*, estas se encuentran detalladas en la (Figura 9), misma que presenta la relación existente entre la abundancia y especies de musgos presentes en el área de investigación. Las especies de *Breutelia* fueron las que mayor abundancia presentaron, ya que estas especies se las visualizó en los cuatro sitios de muestreo, formándose en ocasiones grandes colonias de este género, creando un colchón de agua que permite la infiltración de lenta hacia el suelo. En cuanto a las especies menos abundantes, estas por su ecología y adaptación solo se visualizó en un sitio y en pequeñas comunidades o colonias encontrándose *Pseudocrossidium sp* en el sitio 1 y *Scorpidium sp.* en el sitio 2.

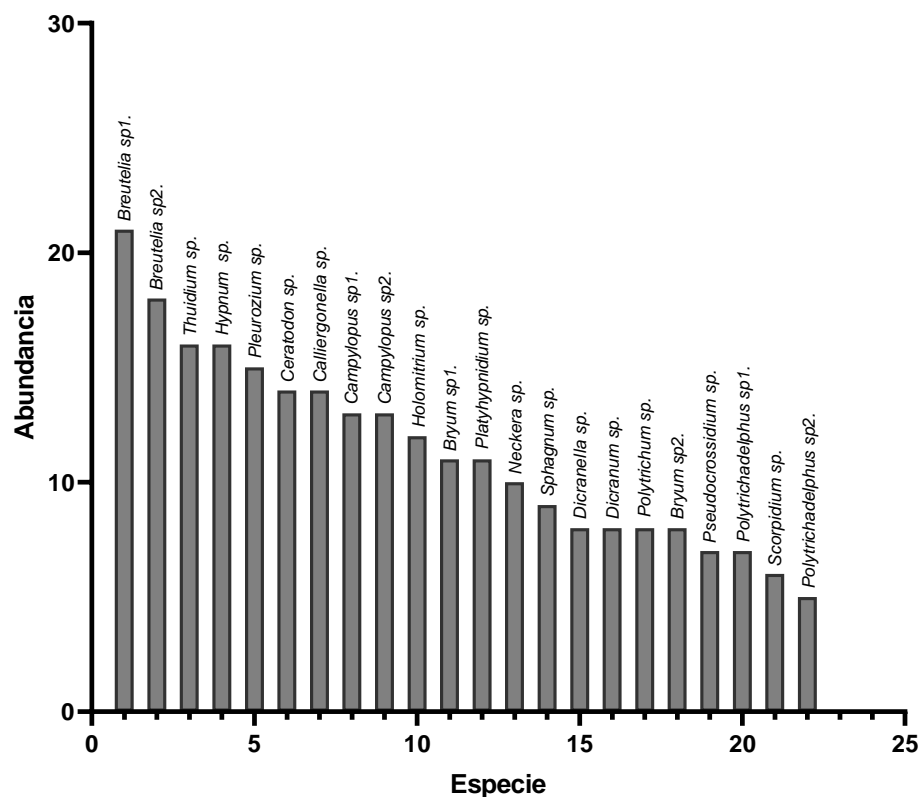
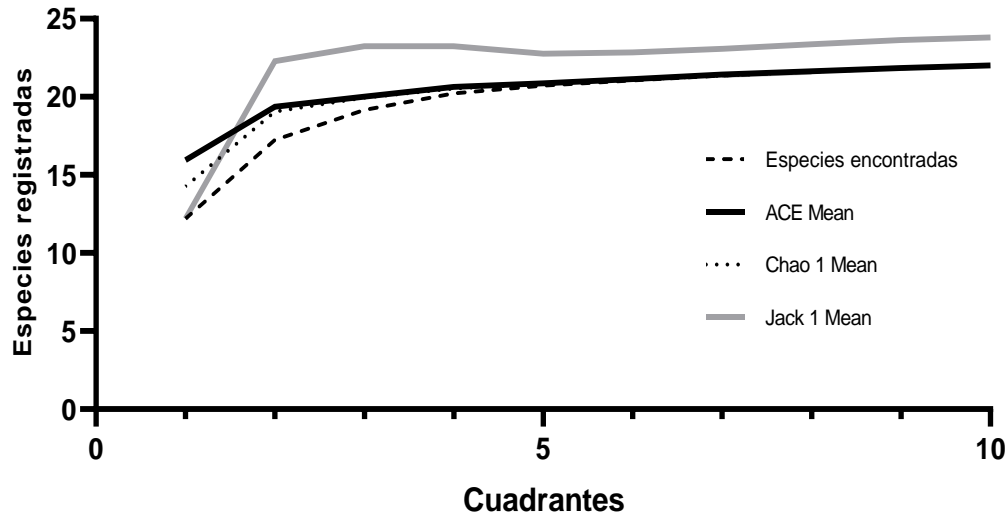


Figura 9. Relación abundancia-especies en musgos de Mojanda

### 4.3 Resultados de la diversidad de musgos

#### 4.3.1 Curva de acumulación de especies

Se realizó un proceso de validación del muestreo (Figura 10), utilizando la herramienta informática EstimateS 9.1.0, este software permitió realizar un análisis detallado de los datos recolectados, como resultado se obtuvo un valor de eficiencia del 92,43%; esta cifra indica la precisión y confiabilidad de los resultados alcanzados a través del muestreo, respaldando la calidad de la metodología utilizada.



**Figura 10.** Curva de validación del muestreo

Los resultados de los estimadores de diversidad ACE, CHAO 1 y Jack 1 indicaron que los porcentajes de confiabilidad para la muestra y la riqueza esperada fueron superiores al 90%, esto significa que los estimadores tienen un alto grado de confianza en la representatividad de la muestra y en la estimación de la cantidad total de especies presentes, Puebmag y Vélez (2022), mencionan que para considerar que el muestreo es confiable, es necesario presentar porcentajes superiores al 85% de los datos obtenidos.

La recomendación de presentar al menos el 85% de los datos se basa en la necesidad de minimizar el sesgo y la incertidumbre asociados con la falta de información, ya que, al incluir una proporción sustancial de los datos disponibles, se reduce el riesgo de distorsionar las conclusiones y se aumenta la confianza en la representatividad de la muestra (Villarreal, 2004).

#### **4.3.2 Valoración de los índices de diversidad alfa**

Los resultados de los índices de diversidad alfa se presentan en la (Tabla 6), los cuales se refieren a la diversidad de especies dentro de un hábitat o área específica, estos valores fueron obtenidos utilizando el software PAST 4.04, este programa

informático facilitó el análisis de la información recopilada, brindando información detallada acerca de la diversidad en los sitios de muestreo.

**Tabla 6.** Índices de diversidad alfa para los sitios muestreados

Índice de diversidad	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Simpson	0.799	0.827	0.813	0.749
Shannon	1.695	1.771	1.725	1.383
Margalef	1.169	1.259	1.189	0.739

El índice de dominancia de Simpson para los 4 sitios indica una dominancia alta de unas pocas especies en la comunidad, ya que presentan valores superiores a 0.749, López et al. (2017), menciona que valores cercanos a 1 indican una alta dominancia, lo que significa que la comunidad está dominada por unas pocas especies, mientras que un valor cercano a 0 indica una distribución más equitativa de las especies y una mayor diversidad en la comunidad. Acorde a lo visualizado en campo, existe una dominancia de ciertas especies en cada sitio de muestreo, siendo principalmente especies de *Breutelia*, las más dominantes en el aérea de estudio, lo que sugiere que la comunidad de musgos tiene una diversidad relativamente moderada, ya que hay varias especies presentes en el área de muestreo, sin embargo, existe una cierta preferencia o dominancia de ciertas especies en el ecosistema estudiado. Guzmán y Esquivel (2016), en el páramo de Anaime obtuvieron índices de dominancia de Simpson superiores a 0.8919, asumiendo que existe dominancia de ciertas especies en el área estudiada.

El índice de equidad de Shannon-Wiener muestra valores para los sitios 1, 2 y 3, superiores a 1.695, esto indica que estos sitios tienen una diversidad media con una distribución uniforme de las abundancias de las especies, lo que significa que la mayor cantidad de especies tienen una presencia similar o proporcional en la comunidad, ya que en estos sitios se encontraron igual número de especies, para cada uno fue de 6. Mientras que el sitio 4 presenta un valor de 1.383, lo cual señala que la diversidad en este lugar es menor en comparación a los otros sitios de muestreo, ya que aquí se identificó 4 especies, estas interpretaciones están dadas por Aguirre (2013), donde se

menciona que valores con rangos de entre 0 a 1.40 presentan baja diversidad, rangos de 1.41 a 3.5 presentan diversidad moderada y valores  $> 3.5$  poseen alta diversidad.

El índice de riqueza de Margalef presenta valores para el sitio 2 (1.259), sitio 3 (1.189), sitio 1 (1.169) y sitio 4 (0.739) respectivamente, lo que sugiere que el sitio 2 presenta un nivel mayor de riqueza y diversidad de especies en relación con los sitios 1 y 3, los cuales indican una riqueza de especies moderada, con una diversidad relativamente buena considerando la cantidad de especies presentes y la abundancia total de musgos. Mientras que el sitio 4 indica que la riqueza de especies es inferior en relación con los otros sitios, esto puede deberse a diferentes factores, como cambios en el hábitat, la presencia de perturbaciones o la capacidad de las especies a adaptarse a condiciones específicas de cada sitio.

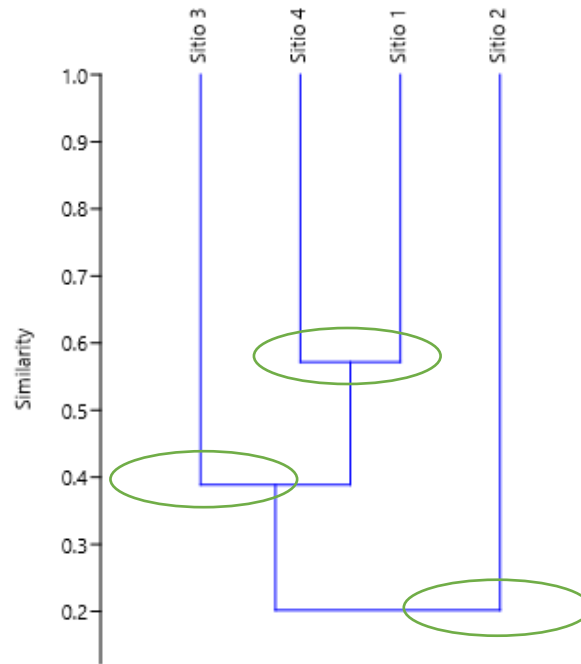
#### ***4.3.3 Valoración del índice de diversidad beta***

En la (Figura 11), se muestra el dendrograma basado en el índice de similitud de Jaccard que analiza la presencia o ausencia de especies en las unidades fisionómicas (sitios de muestreo). En este dendrograma, se identifica que no hay una relación significativa entre todas las unidades fisionómicas muestreadas, ya que se forman 3 clústers definidos donde: el sitio 3 y sitio 2 forman un clúster independiente cada uno, mientras que los sitios 1 y 4 forman uno solo, estos últimos presentan una similitud media, ya que el valor de similitud es cercano a 0.6. Por otro lado, el sitio 2 presenta una similitud baja en comparación con los demás sitios, con un valor de similitud cercano a 0.2. Según Zepeda et al. (2014), el índice de Jaccard presenta valores cercanos a 0, cuando hay diferencias entre dos sitios y cuando estos valores tienden a acercarse a 1, estos los sitios son idénticos.

La disimilitud entre los clústers formados puede deberse a que el sitio 2 presenta características diferentes en relación con los demás sitios, ya que este es un páramo inundable, por lo que ciertas especies que se encuentran ahí como *Sphagnum* se han adaptado a estas condiciones de abundante agua. Por otro lado, se observa una relativa



similitud entre los sitios 1 y 4, los cuales comparten un rango altitudinal similar, lo que se traduce en condiciones ambientales análogas, explicándose así la semejanza en la composición de especies y los niveles de diversidad registrados entre ambos sitios



**Figura 11.** Dendrograma con el índice Jaccard para los sitios muestreados

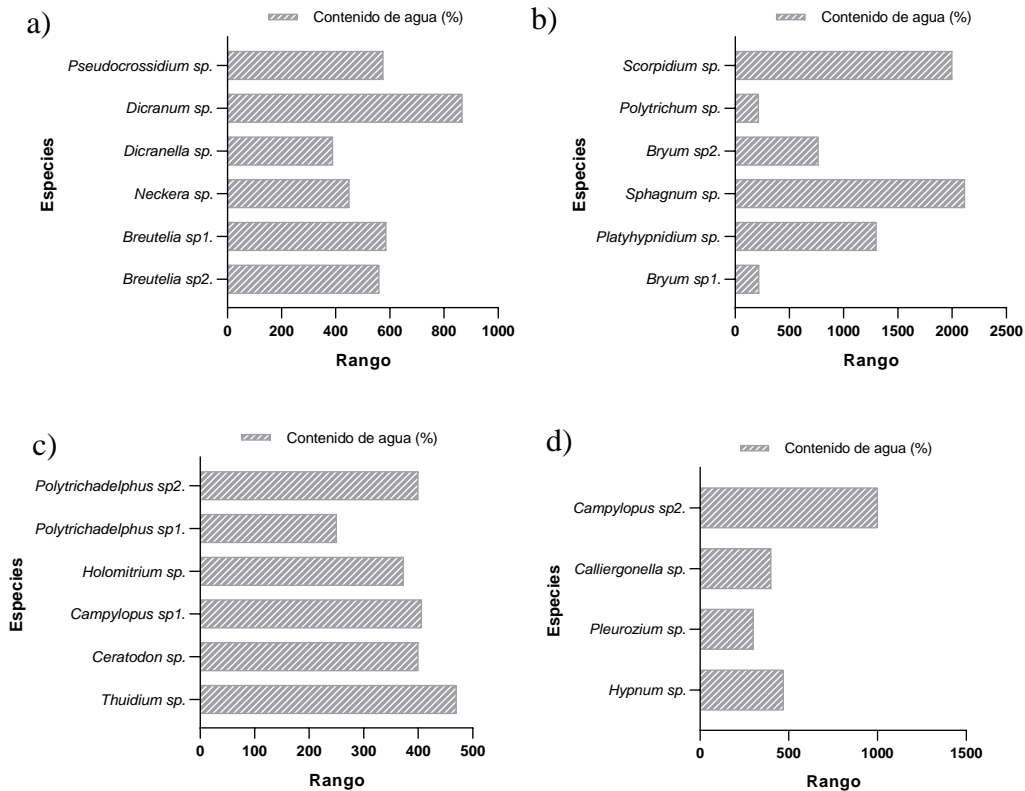
En el estudio realizado por Martínez et al. (2019), en el páramo Colombiano de Guantiva-La Rusia, se encontraron valores bajos, inferiores a 0.35, para el índice de similitud de Jaccard entre los sitios de muestreo, lo cual indica que existe una baja similitud en la composición de especies, por lo cual los investigadores plantean la hipótesis de que estos resultados pueden estar influenciados por las condiciones locales, como el ecosistema, el microhábitat y el tipo de sustrato presentes en cada sitio.

#### **4.4 Contenido hídrico de las muestras colectadas**

##### **4.4.1 Determinación del contenido hídrico de las muestras de musgos**

Se realizó un análisis detallado para determinar la cantidad de agua de lluvia y neblina retenida (contenido hídrico), en las muestras colectadas. Este análisis se basó

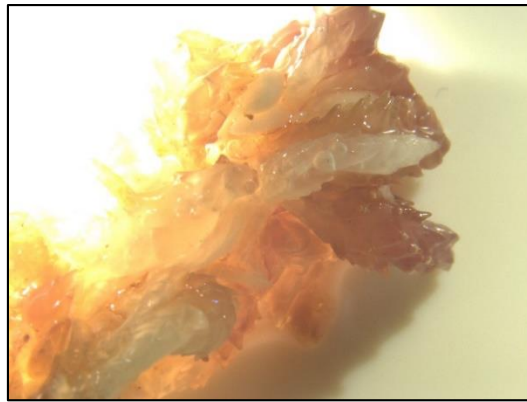
en la relación de pesos entre el musgo inicialmente colectado en campo y el peso seco obtenido luego de someterlo a un proceso de deshidratación en la estufa a temperatura constante de 75°C durante un período de 48 horas, con el fin de facilitar el análisis estadístico, se expresó la reducción de agua de cada muestra en términos porcentuales, los resultados se presentan en la (Figura 12).



**Figura 12.** Capacidad de retención de agua en condiciones de campo por sitio de muestreo a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4

Se encontró que el musgo del género *Sphagnum* (Figura 13), perteneciente a la familia *Sphagnaceae*, exhibió la capacidad más destacada para retener agua, con un porcentaje de contenido de 2 117 %, lo cual indica que este género de musgo puede almacenar alrededor de 21 veces su peso en agua. Otro género que posee una capacidad alta de almacenamiento de agua es *Scorpidium*, con un porcentaje de contenido de agua de 2 000 %, el cual pudo almacenar 20 veces su peso en agua. Estos musgos fueron

encontrados y colectados en el sustrato suelo del Herbazal inundable del páramo (sitio 2), en un entorno caracterizado principalmente por la presencia constante de agua; gracias a su morfología, ecología y adaptación a este tipo de hábitats, estos géneros tienen la capacidad de capturar una cantidad significativa de agua en su estructura, lo que les confiere una ventaja en su supervivencia y adaptación a entornos húmedos como la de este sitio.

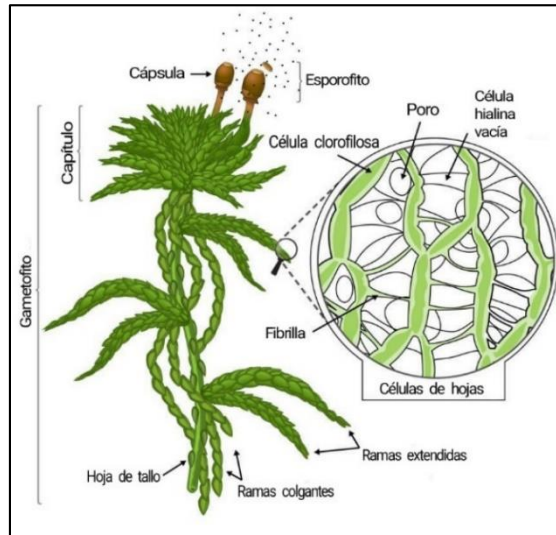


**Figura 13.** Vista en estereoscopio de musgo del género *Sphagnum*

Merchán et al. (2011), en su estudio acerca del contenido hídrico en musgos de los páramos colombianos, indica que la Sphagnaceae fue la familia con el contenido de agua más elevado, atribuyendo esta característica a su capacidad de captación de agua, impulsada por su extensa e hidrofílica estructura celular, lo que la hace altamente absorbente. Estos hallazgos hacen referencia a las propiedades funcionales del *Sphagnum*, que en investigaciones previas en otros ecosistemas han demostrado su destacada capacidad de absorción y retención de agua.

La alta capacidad para retener agua que poseen las especies del género *Sphagnum* se debe tanto a su estructura externa como interna (Figura 14), puesto que este musgo está compuesto externamente por un falso tallo principal con grupos de ramas, generalmente con dos o tres ramas extendidas y de dos a cuatro ramas colgantes e internamente por dos tipos de células: células clorofílicas, las cuales son pequeñas células verdes vivas y células hialinas, estas son células muertas grandes, estructurales

y transparentes que tienen una mayor y rápida capacidad de retención de agua por medio de sus poros (Tapia, 2008).



**Figura 14.** Estructura externa y celular de Sphagnum

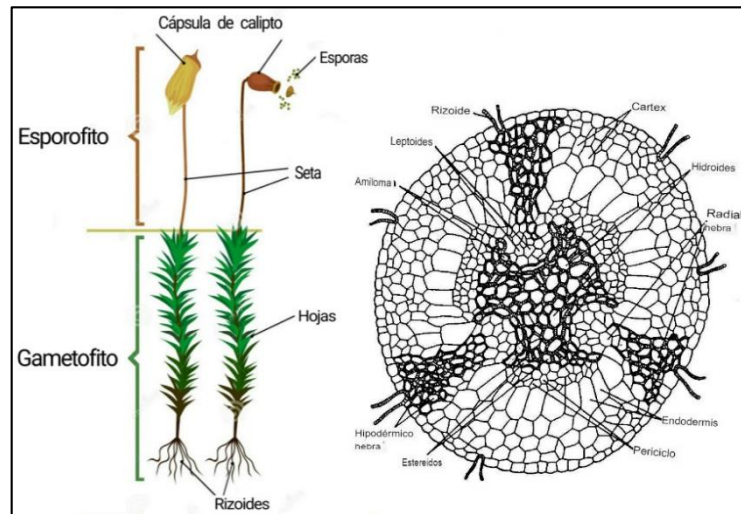
**Fuente:** (Weston et al., 2015).

En contraste, el musgo del género *Polytrichum* (Figura 15), de la familia Polytrichaceae, mostró la capacidad más baja para retener agua, con un contenido hídrico de apenas el 215 %; lo cual sugiere que este género de musgo puede almacenar solamente 2 veces su peso en agua. Otro género que presentó una capacidad baja de almacenamiento de agua es *Bryum*, con un contenido hídrico de 219 %, reteniendo 2 veces su peso en agua. Estos musgos se encontraron principalmente en paredes de tierra de senderos con baja retención de agua, caracterizados por la carencia de vegetación, materia orgánica y raíces que ayuden a retener la humedad y proteger la tierra, esto sumado a la exposición directa al sol, se ve reflejado en la retención de agua en estos musgos. Aunque estos géneros de musgo pueden no tener la misma adaptación para retener grandes cantidades de agua como otros géneros, es importante considerar que pueden tener otras características o estrategias que los hacen adecuados para sobrevivir en diferentes tipos de hábitats donde la disponibilidad de agua puede ser variable.



**Figura 15.** Vista en estereoscopio de musgo del género *Polytrichum*

La baja capacidad para retener agua que posee la especie del género *Polytrichum*, está relacionada directamente por las condiciones específicas del entorno en el que se colectó, aunque en parte también se debe a su estructura externa e interna (Figura 16), ya que la disposición de las hojas facilita el escurrimiento del agua antes de ser retenida por el musgo, además carece de células especializadas para el transporte efectivo de agua, por lo que es menos eficiente para absorberla y retenerla.

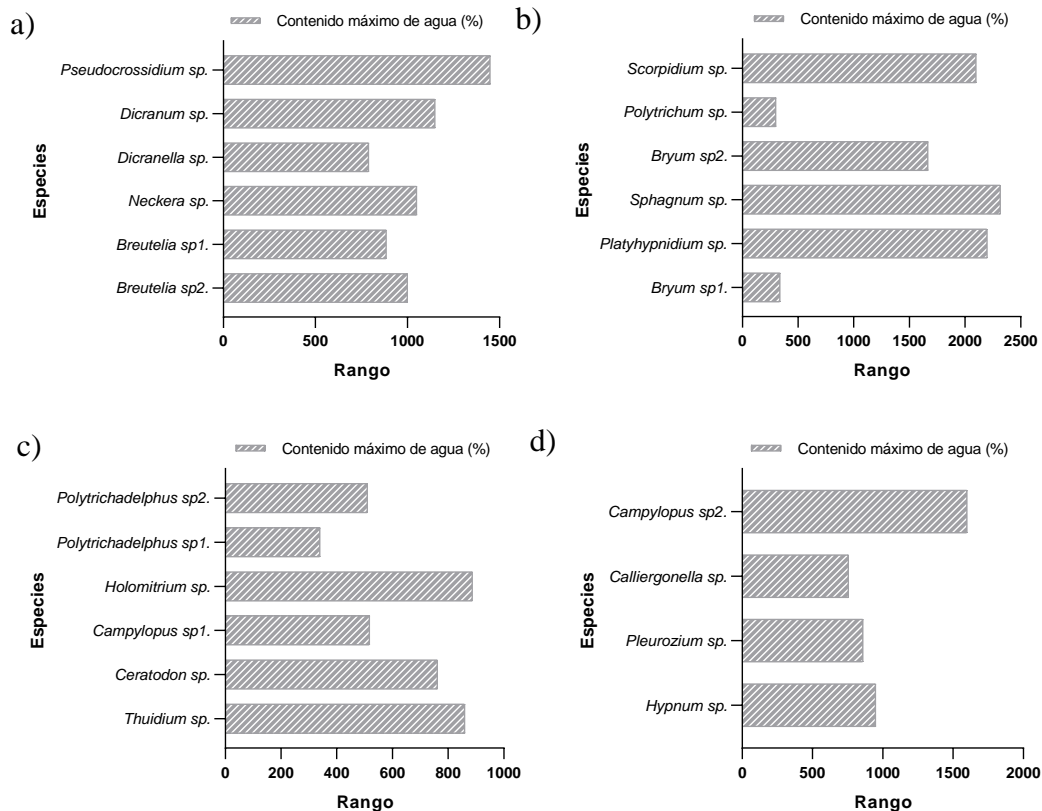


**Figura 16.** Estructura externa y celular de *Polytrichum*

**Fuente:** (Sahoo, 2022).

#### 4.4.2 Determinación de la capacidad máxima de retención de agua

Para establecer el contenido máximo de agua que pueden retener las muestras de musgo colectadas (Figura 17), se realizó un análisis que se basa en la relación de pesos, comparando el peso húmedo inicial de las muestras saturadas, simulando condiciones naturales de turgencia; con el peso seco del musgo deshidratado, luego de ser sometidas a la estufa. Esta diferencia de pesos se expresó matemáticamente como porcentaje de pérdida de peso húmedo, representando el contenido de agua en las muestras de musgo.



**Figura 17.** Capacidad máxima de retención de agua en condiciones de laboratorio por sitio de muestreo a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3 y d) sitio 4

De acuerdo con los resultados de la experimentación, se evidenciaron diferencias significativas en la habilidad para retener agua entre los distintos géneros de musgo analizados. El musgo Sphagnum de la familia Sphagnaceae presentó la

mayor efectividad reteniendo agua luego de ser saturado, registrando un contenido de 2317% de agua en relación a su peso deshidratado; es decir que el peso húmedo fue aproximadamente 23 veces superior al peso seco después del proceso de saturación y medición. Por el contrario, en el caso del musgo *Polytrichum* perteneciente a la familia *Polytrichaceae*, se observó la capacidad más baja para la retención de agua en los especímenes estudiados, su tejido solo pudo retener un 300% de agua con respecto al peso en seco; esto indica un aumento solo 3 veces entre su peso húmedo saturado y su peso deshidratado.

Así también, el estudio experimental demostró la existencia de una relación directa entre la habilidad de retención de agua que tienen los musgos en su hábitat natural y el nivel de saturación que alcanzan cuando se hidratan en condiciones de laboratorio. Específicamente, se encontró que aquellos musgos recolectados en sitios con presencia continua de agua, especialmente los que crecían sobre sustratos como suelo y corteza de árboles, tienden a tener una mayor capacidad natural de retención. Por lo tanto, al ser sometidos a condiciones controladas de hidratación, su nivel de saturación no aumentaba considerablemente, al ya estar adaptados a mantener altas cantidades de agua.

Por el contrario, los musgos colectados de sustratos que no tienen contacto constante con el agua, como rocas y paredes de tierra, demostraron tener una capacidad limitada de retención de agua en sus hábitats naturales. Por ende, al saturar estas muestras en condiciones controladas de laboratorio, se observó que absorbieron cantidades significativas de agua hasta alcanzar su punto máximo de saturación. Sin embargo, en algunos casos estas muestras sólo lograron aumentar su peso seco inicial un par de veces, dado que, al provenir de ambientes con menores niveles de humedad disponible, estos musgos han evolucionado adaptaciones fisiológicas para requerir menos agua para su funcionamiento.

El estudio realizado por Coelho et al. (2023) reveló que el género *Sphagnum* exhibió la mayor capacidad de retención de agua, mientras que el género *Polytrichum*

mostró la capacidad más baja en términos de retención de agua, lo cual concuerda con los hallazgos de la presente investigación. Así también en la investigación realizada por Montenegro et al. (2005), denominada regulación hídrica de cinco musgos en el páramo de Chingaza (Colombia), se determinó que el género *Sphagnum*, también conocido como musgo de turbera, presenta una notable capacidad para almacenar agua, esto se vio reflejado en los resultados encontrados, ya que las especies de *Sphagnum* fueron capaces de retener hasta 23 veces su peso seco en forma de agua, demostrando la habilidad de este género para retener grandes cantidades de agua en comparación con su peso seco.

#### 4.4.3 *Análisis de capacidad máxima de retención de agua en órdenes*

Se realizó una prueba de ANOVA, para establecer si existen diferencias significativas entre la capacidad máxima de retención de agua presentes en los órdenes de musgos detallados en la (Tabla 7).

**Tabla 7.** Capacidad máxima de retención de agua (%), por órdenes de musgo

Órdenes	Bartramiales	Bryales	Dicranales	Hypnales	Polytrichales	Pottiales	Sphagnales
	886	338	762	2200	300	1450	2317
Capacidad	1000	1667	789	860	340		
máxima de	518		1150	950	510		
retención de	1600		887	1050			
agua en				756			
musgos (%)				2100			
				860			

Esta prueba de ANOVA (Tabla 8), basada en la comparación de varianzas entre e intra grupos, reflejaron como resultados un valor F (2.23), valor crítico para F (2.79) y un valor-p (0.09). Dado que el valor crítico para F es mayor al valor F; corroborándose con un valor-p mayor a 0.05, se indica que no existe una diferencia

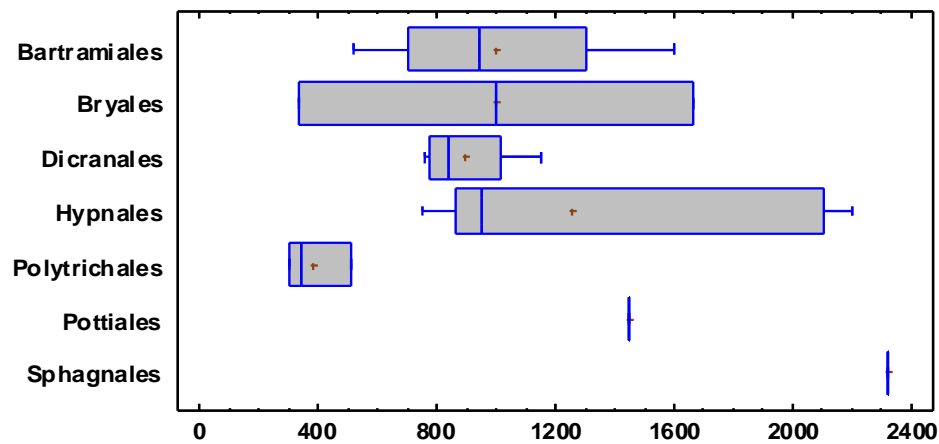


estadísticamente significativa entre las medias de las 7 órdenes de musgos estudiadas, con un nivel de confianza del 95.0%.

**Tabla 8.** Prueba de ANOVA para los órdenes de musgos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p	Valor crítico para F
Entre grupos	3.49461E6	6	582435.	2.23	0.0969	2.79
Intra grupos	3.91088E6	15	260725.			
Total (Corr.)	7.40549E6	21				

En la (Figura 18), se muestran mediante el diagrama de cajas y bigotes las medias de la capacidad máxima de retención de agua en (%) de los órdenes de musgos.



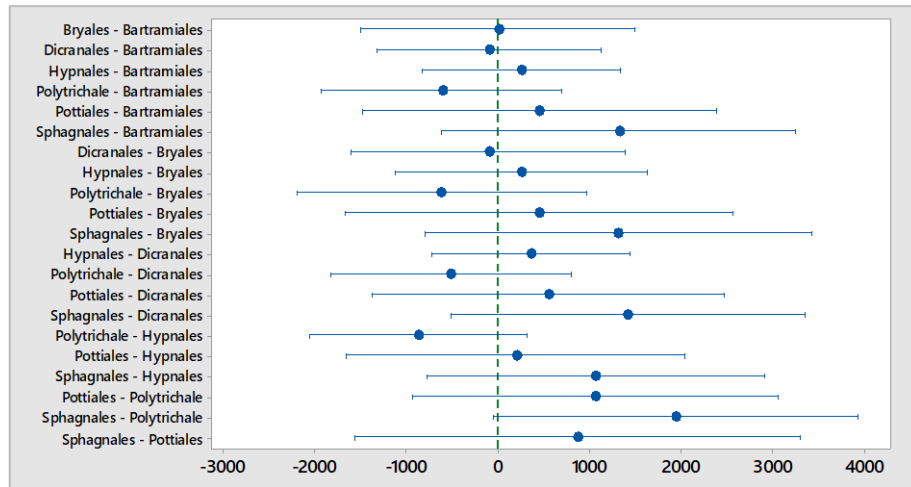
**Figura 18.** Diagrama de cajas y bigotes de para órdenes de musgos

Así también, para corroborar los resultados de la prueba de ANOVA, se realizó una prueba de comparaciones en parejas de Tukey (Tabla 9), donde se muestra que las medias que comparten letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 9.** Comparaciones en parejas de Tukey

Orden	N	Media	Agrupación
Bartramiales	4	1000.84	A
Bryales	2	1002.38	A
Dicranales	4	896.774	A
Hypnales	7	1253.65	A
Polytrichales	3	383.333	A
Pottiales	1	1450.0	A
Sphagnales	1	2316.67	A

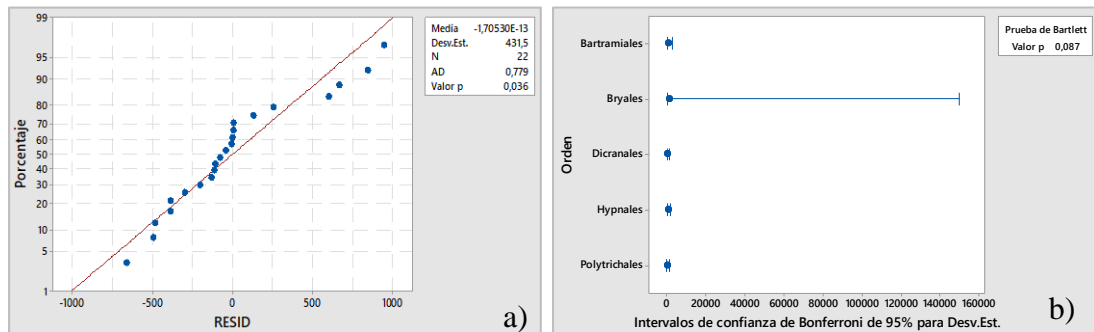
En la (Figura 19), se indican los intervalos de confianza simultáneos de Tukey, donde se comparan las diferencias de las medias de la capacidad máxima de retención de agua de los 7 órdenes de musgo en estudio.



**Figura 19.** Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey

Adicionalmente, para validar los resultados obtenidos se realizó la prueba de igualdad de varianzas y se verificó que los residuos tengan una distribución normal según la prueba de Anderson Darling (Figura 20), donde los valores que se obtienen del valor-p son mayores al nivel de significancia (0.05), por lo cual se confirma que no

existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las órdenes en estudio.



**Figura 20.** Distribución normal en residuos (a) y prueba de igualdad de varianzas (b)

Se realizó una prueba de múltiples rangos para comparar las medias entre grupos específicos y determinar cuáles grupos difieren significativamente entre sí, encontrando que existen 3 conjuntos bastante definidos, estos conjuntos homogéneos contienen a los órdenes que se muestran en la (Tabla 10), mismos que se agrupan ya que su variación es homogénea, lo que les atribuye características similares y los componen en dichos grupos.

**Tabla 10.** Grupos formados a partir de órdenes de musgos con variación homogénea

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Polytrichales	Dicranales	Bryales
Dicranales	Bartramiales	Hypnales
Bartramiales	Bryales	Pottiales
Bryales	Hypnales	Sphagnales
Pottiales	Pottiales	

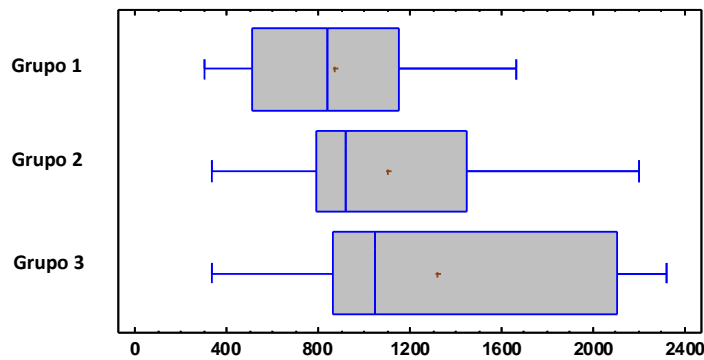
Además, para determinar si existe diferencias significativas entre los tres grupos formados, se llevó a cabo un análisis de conglomerados utilizando una prueba de ANOVA (Tabla 11), basada en la comparación de varianzas entre e intra grupos. El objetivo era evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Los resultados de la prueba mostraron para el valor F (2.18), valor crítico para F (3.23) y un valor-p (0.12). En vista de que el valor crítico para F es mayor al valor F;

al igual que el valor-p obtenido (mayor a 0.05), se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de retención de agua de los tres grupos de órdenes establecidos en el análisis, con un nivel de confianza del 95.0%.

**Tabla 11.** Prueba de ANOVA para los grupos de órdenes formados

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p	Valor crítico para F
Entre grupos	1.26516E6	2	632580.	2.18	0.1259	3.23
Intra grupos	1.15868E7	40	289671.			
Total (Corr.)	1.2852E7	42				

En la (Figura 21), se muestran mediante el diagrama de cajas y bigotes las medias de la capacidad máxima de retención de agua en %, de los tres conjuntos de datos formados, a partir de los órdenes de musgos encontrados.



**Figura 21.** Diagrama de cajas y bigotes agrupados por órdenes de musgos

De acuerdo con los resultados de las pruebas de ANOVA realizados, los valores críticos de F son mayores a los valores F, al igual que los valores-p obtenidos cuyos valores fueron superiores a (0.05). Con base en estos resultados, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de retención de agua de los órdenes de musgos, ni en los tres grupos de órdenes establecidos en el análisis. Por lo tanto, al considerar un intervalo de confianza del 95,0%, los datos constituyen evidencia suficiente para rechazar la hipótesis alternativa, aceptando la

hipótesis nula de la presente tesis, la cual menciona que todos los órdenes de musgos presentes en el páramo de Mojanda poseen igual capacidad de retención de agua.

#### **4.5 Estrategias para la conservación de musgos en los páramos de Mojanda**

Para elaborar estrategias destinadas a la conservación de musgos en los páramos de Mojanda, se consideraron tanto a los actores sociales directos como indirectos que influyen en su conservación. Estas estrategias buscan minimizar los impactos de origen antropogénico, centrándose en programas dirigidos a niños, jóvenes y la sociedad en general. La finalidad es fomentar la conciencia sobre la importancia de cuidar adecuadamente las áreas de importancia hídrica, como los páramos, y destacar la relevancia de los recursos naturales presentes en estos ecosistemas.

##### **4.5.1 Identificación de problemas**

Para este propósito, se identificaron los problemas predominantes que afectan a las poblaciones de musgos mediante salidas de campo destinadas a evaluar el estado actual del área de investigación. La información recopilada se validó a través de una revisión bibliográfica centrada en las problemáticas que amenazan los musgos en las zonas de páramo.

Se identificaron problemas tales como las quemadas e incendios que se originan debido a creencias arraigadas en la población a las prácticas de quema del pajonal durante épocas de sequía con la intención de atraer la lluvia, además se registran incendios causados por la negligencia de turistas y visitantes que optan por acampar y encender fuego en la zona (Ruiz, 2017). El turismo no controlado y por tanto las consecuencias de este se originan debido a vacíos o poca claridad en cuanto roles y competencias de los organismos relacionados con el turismo en la zona, además de la falta de información acerca de un ecosistema tan vulnerable como el páramo y por la poca o nula coordinación entre las entidades públicas pertinentes (Granada, 2018).

Entre otros problemas identificados están la expansión agropecuaria, el pastoreo en zonas altas, introducción de especies invasoras, pérdida de hábitat por la construcción de caminos sin previa planificación, contaminación por la dispersión de productos agroquímicos y presencia de basura, extracción directa del musgo, cambio climático y la falta de educación ambiental que desencadena en la mayoría de las problemáticas antes expuestas.

#### 4.5.2 Matriz de Vester

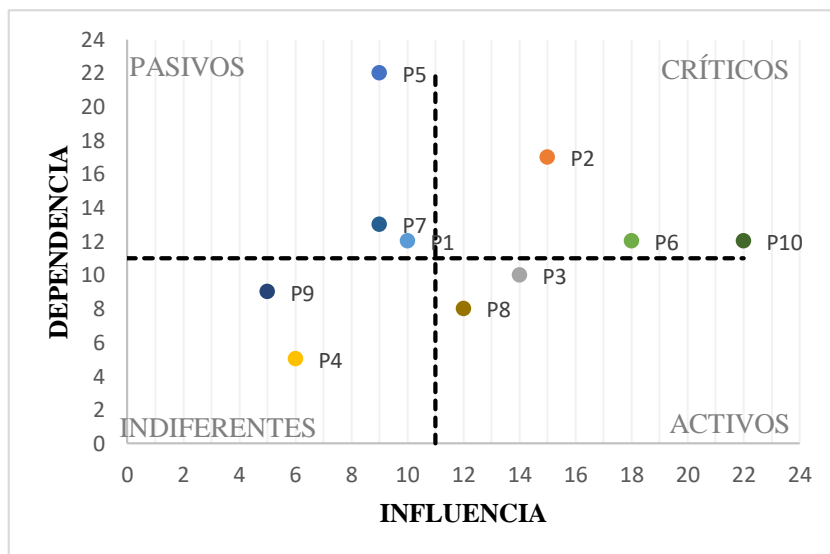
Como resultado de las salidas de campo y en base a la revisión literaria se pudo determinar distintos desafíos asociados con la amenaza a la presencia de musgos en los páramos de Mojanda, mismos que se enlistan en la (Tabla 12), codificados como P1, P2, P3, ..., P10. De esta manera, se procedió a cuantificar la relación causal entre estos elementos mediante el uso de la matriz de Vester, logrando así destacar las contrariedades más significativas que se manifiestan entre las variables expuestas (Narváez, 2021).

**Tabla 12.** Matriz de Vester problemáticas que amenazan a los musgos en el paramos de Mojanda

Código	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Influencia
<b>P1</b>	Cambio climático	0	3	1	0	2	1	2	1	0	0	10
<b>P2</b>	Quemas e incendios	3	0	1	1	3	1	2	2	0	2	15
<b>P3</b>	Contaminación	3	2	0	0	3	2	2	0	0	2	14
<b>P4</b>	Especies invasoras	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	6
<b>P5</b>	Pérdida de hábitat	1	2	1	0	0	2	0	1	0	2	9
<b>P6</b>	Turismo no controlado	1	2	2	3	2	0	3	0	3	2	18

<b>P7</b>	Expansión agropecuaria	1	2	1	0	3	1	0	0	0	1	9
<b>P8</b>	Pastoreo	2	2	1	0	2	1	0	0	3	1	12
<b>P9</b>	Extracción de musgo	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	5
<b>P10</b>	Falta de educación ambiental	1	3	3	1	3	2	3	3	3	0	22
<b>Dependencia</b>		12	17	10	5	22	12	13	8	9	12	

Delgado y Pérez (2020), menciona que, en la elaboración del plano cartesiano, cada cuadrante representa una demanda específica, los problemas ubicados en los cuadrantes pasivos, indiferentes y activos, tienen una influencia relativamente menor, mientras que los problemas clasificados como críticos requieren mayor atención. Mediante el plano cartesiano (Figura 22), se indica la clasificación de los problemas detectados en la zona del páramo de Mojanda, donde se presentan tres problemas críticos que son; quemas e incendios, turismo no controlado y la falta de educación ambiental que presentan los visitantes y habitantes de sectores adyacentes al páramo de Mojanda.



**Figura 22.** Clasificación de problemas identificados y valorados en la zona del páramo de Mojanda

### **4.5.3 Problemas críticos encontrados**

#### **P2. Quemadas e incendios**

El 70% de los eventos de quemadas e incendios en páramo de Mojanda son causados intencionalmente, la causa principal corresponde a quemadas agrícolas ilegales y sin control, cuya finalidad es propiciar el rebrote vegetativo o deshacerse de residuos de cosechas; no obstante, también se señalan causas como la piromanía, el vandalismo o la especulación interesada sobre terrenos, como factores preponderantes; por otro lado, en los últimos años se ha evidenciado un incremento de incendios por negligencia atribuible a la afluencia turística y campistas que encienden fogatas sin los debidos cuidados, representando estas causas entre el 15% y 25% del total de casos reportados (Ruiz, 2017).

En todos los casos donde ocurren quemadas de vegetación, ya sean intencionales o accidentales, se perjudica la habilidad del ecosistema para retener agua, estos incendios alteran propiedades físicas y erosivas del suelo; además la pérdida de cobertura vegetal por efecto del fuego reduce la capacidad de absorción y retención de humedad que brindan las plantas debido al rol hidrológico que cumplen, así también se ha evidenciado que ciertas comunidades rurales presentan problemas de escasez de agua a causa de las constantes quemadas en el páramo (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha, 2016).

#### **P6. Turismo no controlado**

De los cantones que comparten la zona de los páramos de Mojanda, únicamente el cantón de Pedro Moncayo lleva a cabo un registro, control y monitoreo del turismo, sin embargo, este proceso es deficiente debido a la falta de recursos financieros y de personal, especialmente considerando la extensión de la zona, ya que solo cuenta con



dos guardaparques para toda el área de páramo correspondiente al cantón (Urku Kamas, 2016).

El turismo no regulado está generando tensiones directas en el ecosistema de Mojanda, debido al aumento constante de visitantes en la zona, como una de las principales consecuencias, se observa el incremento en la acumulación de desechos, así como una mayor presencia de quemas e incendios no controlados, los cuales impactan negativamente a la pérdida de la cobertura vegetal y de manera indirecta, contribuyen a la disminución de las especies de flora y fauna (Ruiz, 2017).

#### P10. Falta de educación ambiental

Cortez y Rivera (2022), señalan que las amenazas de origen antropogénico que afectan a ecosistemas vulnerables como el páramo, surgen a causa de la carencia de educación ambiental como resultado del desconocimiento y la falta de información respecto al cuidado de estas áreas. Por otro lado, Veracierto et al. (2021), mencionan que la educación ambiental es un proceso de aprendizaje que capacita a las personas para tomar decisiones conscientes en su entorno, ya sea en el ámbito natural o social, participando activamente en la conservación y prevención de problemas ambientales.

Ruiz (2017) indica que la carencia de educación ambiental en la sociedad conduce a un desconocimiento en la comunidad que tiene interacción directa con la zona del páramo de Mojanda, tanto visitantes como la población local y las instituciones desconocen las normativas ambientales aplicables en áreas protegidas, esto da lugar a problemas, entre los cuales se incluyen: pastoreo, introducción de especies invasoras, pérdida de hábitat, contaminación, extracción de fauna y flora, quemas e incendios, turismo inconsciente, entre otros.

Con el propósito de conservar un recurso natural fundamental para la regulación hídrica, como es el musgo presente en los páramos de Mojanda, a continuación, se proponen estrategias que incluyen programas y proyectos, estas estrategias se fundamentan en los problemas críticos identificados en el plano cartesiano de

influencia/dependencia, generada a partir de la evaluación de problemas detectados en la matriz de Vester.

#### ***4.5.3.1 Estrategia 1. Programa de educación ambiental orientado a la prevención de quemas e incendios***

La educación ambiental constituye un proceso de aprendizaje que posibilita la toma de conciencia en relación con la conservación del medio ambiente, promoviendo la adopción de valores y actitudes constructivas que favorecen al manejo responsable de los recursos naturales (Pineda y Prieto, 2019).

Esta estrategia se considera fundamental para generar conciencia, inculcar valores y promover conductas que impulsen la participación activa de la población en la conservación de los recursos ecosistémicos vulnerables como el páramo; la educación ambiental debe estar orientada a resolver las causas fundamentales de las problemáticas ambientales, por lo que es necesario analizar a fondo las causas de los incendios y como la población influye en la generación de tales eventos, ya sea de manera directa o indirecta; para proponer soluciones efectivas y establecer compromisos con la población encaminados a erradicar la problemática (García, 2021).

Debido a la vulnerabilidad del ecosistema de páramo en la zona de Mojanda frente a los incendios forestales, se requiere implementar un proyecto de educación ambiental para crear conciencia sobre la importancia de proteger este delicado hábitat y su vegetación, incluyendo especies claves como los musgos que cumplen un rol hidrológico vital; dado que las causas de estos incendios son principalmente actividades humanas, tanto intencionales como la piromanía, el vandalismo o las quemas agrícolas ilegales, así como casos de negligencia por parte de turistas y visitantes; es necesario cambiar las creencias equivocadas en la población local e informar adecuadamente a los visitantes sobre conductas responsables y prevención de estos eventos devastadores (Ruiz, 2017).

### **Objetivo General**

Implementar talleres de capacitación sobre la importancia de los musgos con énfasis en la prevención de quemaduras e incendios en los páramos, destinados a turistas, instituciones educativas y comunidad aledaña al páramo de Mojanda.

### **Objetivos específicos**

Generar conciencia en la población acerca de los impactos ambientales negativos producidos por incendios en áreas de páramo y el papel que cumplen los musgos en el ciclo hidrológico.

Prevenir la pérdida de las especies vegetales producto de las quemaduras e incendios forestales causados por la falta de conocimiento y la negligencia de la comunidad.

**Tabla 13.** Programa de educación ambiental orientado a la prevención de quemas e incendios

Proyecto	Actividades	Verificadores	Responsables
Proyecto “turismo libre de quemas e incendios”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de contenido visual y audiovisual sobre:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relevancia del páramo y sus elementos.</li> <li>- Relevancia de la cobertura vegetal, especialmente el rol que cumple el musgo en el ciclo y regulación del agua.</li> <li>- Manejo adecuado de elementos inflamables.</li> <li>- Correcto manejo de los desechos.</li> <li>- Riesgos de incendios.</li> <li>- Prevención de incendios.</li> <li>- Medidas a tomar ante incendios.</li> </ul> </li> <li>• Talleres de educación ambiental destinados a turistas y visitantes referente a la relevancia de conservar las áreas de páramo y sus elementos, destacando el papel que cumplen los musgos en el ciclo del agua.</li> <li>• Taller de prevención de incendios en áreas de cobertura vegetal vulnerable, especialmente en sitios de pajonal, destinados a turistas y visitantes.</li> <li>• Taller de intercambio de experiencias sobre incendios en páramos, facilitada por el Cuerpo de Bomberos.</li> <li>• Difusión del contenido visual y audiovisual en redes sociales de medios locales.</li> </ul>	<p>Registro de asistencia a los talleres impartidos.</p> <p>Material visual y audiovisual presentados durante los talleres.</p> <p>Registro fotográfico.</p> <p>Publicaciones en redes sociales del contenido informativo creado.</p>	<p>Gobiernos Cantonales y Provinciales.</p> <p>Técnico ambiental.</p> <p>Cuerpo de Bomberos.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de contenido visual y audiovisual acorde a los niveles inicial, básico y bachillerato acerca de:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- La relevancia del ecosistema páramo y sus componentes.</li> <li>- La influencia de la vegetación, en particular, el papel crucial del musgo en la regulación y ciclo del agua.</li> <li>- Adecuada gestión de materiales inflamables.</li> <li>- Manejo apropiado de residuos.</li> <li>- Peligros asociados a los incendios.</li> <li>- Medidas preventivas para evitar incendios.</li> <li>- Acciones por implementar en respuesta a incendios.</li> </ul> </li> <li>• Taller educativo ambiental diseñados para niños y jóvenes de los diferentes niveles de educación, centrados en la relevancia de</li> </ul>	<p>Registro de asistencia a los talleres impartidos.</p> <p>Material visual y audiovisual presentados durante los talleres.</p>	<p>Gobiernos Cantonales y Provinciales.</p> <p>Personal técnico destinado.</p>

	<p>conservar los ecosistemas de páramo y sus componentes con énfasis en el rol de los musgos en el ciclo hidrológico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller sobre la prevención de incendios en zonas con vegetación propensa al fuego, especialmente en áreas de pastizales destinados a los estudiantes.</li> <li>• Taller donde se compartan experiencias en incendios de páramo a cargo del Cuerpo de Bomberos.</li> <li>• Divulgación de material educativo visual a través de carteles informativos en las instituciones educativas.</li> </ul>	<p>Registro fotográfico.</p>	<p>Cuerpo de Bomberos.</p>
<p>Proyecto “mi páramo seguro”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de materiales visuales y audiovisuales que aborden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- La importancia del páramo y sus componentes.</li> <li>- La importancia de la vegetación, con especial énfasis en la función del musgo en el ciclo y regulación del agua.</li> <li>- Gestión apropiada de elementos propensos a inflamarse.</li> <li>- El adecuado manejo de los residuos.</li> <li>- Los peligros asociados a los incendios.</li> <li>- Las estrategias preventivas ante incendios.</li> <li>- Las acciones por implementar en caso de incendios.</li> </ul> </li> <li>• Taller de educación ambiental dirigido a la población aledaña al páramo de Mojanda, para concientizar acerca de la importancia de este ecosistema frágil y sus componentes bióticos y abióticos, con énfasis en explicar la función que cumplen los musgos en este ecosistema principalmente en el ciclo del agua.</li> <li>• Taller que busca revertir creencias equivocadas de la población rural como la quema de páramo en épocas de sequía para generar lluvia o la quema de restos de cultivos para optimizar la calidad de suelo; además de enfatizar en medidas de prevención y alerta temprana frente a incendios, sobre todo en áreas de vegetación vulnerable como el pajonal que rodean Mojanda.</li> <li>• Taller con la participación del Cuerpo de Bomberos, donde se compartirán con la comunidad experiencias y lecciones en el control y extinción de incendios suscitados previamente en ecosistemas de páramo.</li> </ul>	<p>Registro de asistencia a los talleres impartidos.</p> <p>Material visual y audiovisual presentados durante los talleres.</p> <p>Registro fotográfico.</p>	<p>Gobiernos Cantonales y Provinciales.</p> <p>Personal técnico destinado.</p> <p>Cuerpo de Bomberos.</p>

#### ***4.5.3.2 Estrategia 2. Programa de educación ambiental enfocado al turismo responsable***

El Ecuador aspira a posicionarse como un líder innovador en el ámbito turístico en la región, buscando hacer de esta actividad un componente fundamental para el desarrollo sostenible tanto en el aspecto social como económico (Silva y Ruiz, 2020).

En los últimos años, existe una tendencia al aumento en la actividad turística dentro de las áreas naturales protegidas y esta tendencia se espera que vaya en aumento; este crecimiento ha generado varios beneficios, especialmente en términos económicos y sociales; sin embargo, al mismo tiempo, ha surgido una preocupación a nivel global acerca de las posibles consecuencias ambientales que el desarrollo turístico podría tener en estos espacios naturales (Romo, 2019).

La adecuada planificación y regulación, así como una debida zonificación de áreas destinadas al turismo se presenta como un instrumento que facilita la organización de las actividades y la administración en áreas susceptibles o vulnerables, proporcionando un manejo sostenible de los recursos naturales disponibles en el ecosistema; por lo cual la debida socialización a la población acerca de los límites destinados para las actividades turísticas en el páramo contribuirá a la regulación, conservación y preservación de las áreas vulnerables y de importancia hídrica como lo es Mojanda (Mármol, 2022).

#### **Objetivo General**

Ejecutar campañas de socialización dirigidas a la actividad turística responsable en los páramos, orientadas a visitantes e instituciones educativas.

#### **Objetivos específicos**

Crear conciencia la ciudadanía acerca de los efectos ecológicos perjudiciales derivados de las prácticas turísticas irresponsables, especialmente en el ciclo hidrológico, al afectar especies vegetales significativas como el musgo.

Evitar la degradación de especies vegetales debida a prácticas turísticas inapropiadas, originadas por la falta de información y descuido de la comunidad.

**Tabla 14.** Programa de educación ambiental enfocado al turismo responsable

Proyecto	Actividades	Verificadores	Responsables
Proyecto “turismo seguro y responsable”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de contenido visual y audiovisual sobre:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Servicios ecosistémicos del páramo.</li> <li>- Rol de las especies vegetales en el ecosistema, enfocado a la importancia del musgo en el ciclo hidrológico.</li> <li>- Efectos adversos de la extracción de elementos del páramo, orientado a la importancia del musgo.</li> <li>- Perturbaciones a la fauna a causa del ruido y alteraciones en el ecosistema.</li> <li>- Delimitación de áreas para actividades turísticas.</li> <li>- Manejo adecuado de elementos inflamables.</li> <li>- Prevención, riesgos y medidas a tomar ante incendios.</li> <li>- Correcto manejo de los desechos.</li> </ul> </li> <li>• Socialización a turistas y visitantes acerca de los servicios ecosistémicos del páramo y el rol de las especies vegetales en el ecosistema, enfocado a la importancia del musgo en el ciclo hidrológico.</li> <li>• Socialización de las perturbaciones a la fauna causadas por el ruido y alteraciones al ecosistema, destinados a turistas y visitantes.</li> <li>• Socialización de las áreas delimitadas destinadas a las actividades turísticas.</li> <li>• Socialización de medidas de prevención, riesgos y acciones a tomar ante incendios, además de la correcta manipulación de elementos inflamables para prender fogatas.</li> <li>• Difusión del contenido visual y audiovisual en redes sociales de medios locales.</li> </ul>	<p>Registro de asistencia a las socializaciones impartidas.</p> <p>Material visual y audiovisual presentados durante los talleres.</p> <p>Registro fotográfico.</p>	<p>Gobiernos Cantonales y Provinciales.</p> <p>Técnico ambiental.</p>



Proyecto “educando para conservar los páramos”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de contenido visual y audiovisual acorde a los niveles inicial, básico y bachillerato acerca de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los beneficios ecosistémicos del páramo.</li> <li>- Función de las especies vegetales en el ecosistema, centrado en la relevancia del musgo en el ciclo hidrológico.</li> <li>- Consecuencias negativas de la extracción de elementos del páramo, con un enfoque en la importancia del musgo.</li> <li>- Impactos perjudiciales para la fauna debido al ruido y las alteraciones en el entorno.</li> <li>- Definición de zonas designadas para actividades turísticas.</li> <li>- Gestión apropiada de elementos inflamables.</li> <li>- Prevención, peligros y acciones a tomar frente a incendios.</li> <li>- Manejo adecuado de los desechos.</li> </ul> </li> <li>• Socialización diseñados para niños y adolescentes de los distintos niveles de educación, sobre los beneficios ecosistémicos del páramo y la función de las especies vegetales en el ecosistema, con especial atención en la relevancia del musgo en el ciclo hidrológico.</li> <li>• Socialización de los impactos en la fauna ocasionados por el ruido y las modificaciones en el entorno, orientada hacia los estudiantes.</li> <li>• Socialización de las zonas designadas para llevar a cabo actividades turísticas.</li> <li>• Socialización de información sobre precauciones, peligros y pasos a seguir en caso de incendios, así como la adecuada manipulación de elementos inflamables para encender fogatas.</li> <li>• Divulgación de material educativo visual a través de carteles informativos en las instituciones educativas.</li> </ul>	Registro de asistencia a las socializaciones impartidas.	Gobiernos Cantonales y Provinciales.
	Material visual y audiovisual presentados durante los talleres.	Personal técnico destinado.	
		Registro fotográfico.	

## CAPÍTULO V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

Se identificó un total de 7 órdenes distribuidas en 15 familias, 18 géneros y 22 especies de musgos. El análisis de distribución por sitios reveló patrones diferentes de diversidad. El sitio 1 presentó 4 familias, 5 géneros y 6 especies; el sitio 2 albergó 5 familias, 5 géneros y 6 especies; en el sitio 3 se cuantificaron 5 familias, 5 géneros y 6 especies; mientras que en el sitio 4 se hallaron 4 familias, 4 géneros y 4 especies. El índice de Simpson indicó dominancia alta de pocas especies en la comunidad, siendo el género *Breutelia* el más frecuente y abundante; el índice de Shannon-Wiener indicó que los sitios 1, 2 y 3 presentan especies que tienen una presencia similar o proporcional en la comunidad. El índice de Margalef sugiere que el sitio 2 presenta una mayor riqueza y diversidad de especies en relación con los demás sitios, los cuales tienen una riqueza de especies moderada.

La investigación reveló que el género *Sphagnum* destaca en la capacidad de almacenamiento de agua, logrando almacenar hasta 21 veces su peso en agua; en contraste, el género *Polytrichum* presentó la capacidad más baja, reteniendo solamente 2 veces su peso en agua. La capacidad retención de agua en los musgos se debe principalmente a su estructura, ya que en ciertos musgos la estructura ayuda a retener y almacenar agua, mientras que en otros la estructura facilita el escurrimiento del mismo. Al realizar el ANOVA, se concluyó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la capacidad máxima de retención de agua de los órdenes de musgo, por lo cual se aceptó la hipótesis nula la cual marca dicha premisa.

Al través de la aplicación de la Matriz de Vester, se determinó que las quemadas e incendios, el turismo no controlado y la falta de educación ambiental que presentan los visitantes y habitantes de sectores adyacentes al páramo de Mojanda son las problemáticas de mayor influencia tanto directa como indirecta sobre las amenazas actuales de los musgos en la zona. Ante estas problemáticas se han propuesto dos

programas basados en la educación ambiental enfocados en la prevención de quemas e incendios y el turismo responsable, mismos que buscan frenar el deterioro de las comunidades y diversidad de musgos en el páramo.

## **5.2 Recomendaciones**

Dada la variación en la composición de especies de musgos entre los diferentes sitios de muestreo, se sugiere llevar a cabo un seguimiento y estudio continuo de la distribución y abundancia de las poblaciones de musgos en estos sitios, para identificar posibles cambios en la composición; así también es importante considerar aumentar los sitios de muestreo, ya que esto permitirá comprender mejor los factores ambientales y las condiciones específicas que influyen en la diversidad de musgos, así como la dinámica de las poblaciones de musgos y su respuesta a factores como el cambio climático, la perturbación antrópica y otros factores ambientales en las diferentes áreas del páramo en estudio.

Dado que el género *Sphagnum* ha demostrado tener una alta capacidad de almacenamiento de agua y una adaptación sobresaliente a entornos húmedos, se recomienda considerar su potencial uso en estrategias de conservación y restauración de hábitats acuáticos en el páramo.

Se sugiere llevar a cabo estudios más detallados acerca del contenido hídrico de cada especie de musgo, así como las interacciones entre estas especies y otras de flora y fauna presentes en el ecosistema páramo. Esto permitirá entender mejor su papel en el mantenimiento de la biodiversidad y la ecología de estos ecosistemas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, N., Ojeda, T., Eguiguren, P. y Aguirre, Z. (2015). *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus*, Ecuador.
- Aguirre, Z. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador, 37(6), 82.
- Alberca, C. y Aponte, U. (2021). *Diversidad y recambio espacial de las plantas vasculares del humedal marino costero de Carquín-Hualmay (Lima—Perú)*. *Arnaldoa*, 28(2), 319–338. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.282.28204>
- Allen, N., De García, J., y Chung, C. (2006). *Aporte al catálogo de musgos de Guatemala. Biodiversidad de Guatemala*. Enio B. Cano (Ed.) Volumen I. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. Centro América, 69-146.
- Ardila, N., Díaz Pérez, C. N., Forero Bustamante, J. E., Gil Leguizamón, P. A., Gil Novoa, J. E., Morales Puentes, M. E., y Vergara Buitrago, P. A. (2018). *Propuesta plan de manejo de briófitos, municipio de Aguazul, Casanare*.
- Argentel, L., González, L., Ávila, C., y Aguilera, R. (2006). *Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad*. *Cultivos tropicales*, 27(3), 49-53.
- Badii, M., Landeros, J., y Cerna, E. (2008). *Patrones de asociación de especies y sustentabilidad (Species association patterns and sustainability)*. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 3(1), 632-660.

- Basantes, T. (2018). *Estrategias de adaptación al cambio climático caso: innovación tecnológica en el canal de riego Peribuela, provincia de Imbabura*. (Tesis de Pregrado).
- Baselga, A., y Gómez, C. (2019). *Diversidad alfa, beta y gamma: ¿cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas?* Nova acta scientifica compostelana, 26.
- Bravo, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Abya-Yala/UPS.
- Calderón, M. (2018). *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Calderón, J. (2019). *La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamate provincia de Chimborazo* (Tesis de Pregrado, PUCE-Quito).
- Campo, A. y Duval, V. (2014). *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 34(2). [https://doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2014.v34.n2.47071](https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071)
- Campos, L., Aguirre, J., y Uribe, J. (2008). *Santa María, líquenes, hepáticas y musgos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cataño, E., Uribe, J. y Campos, L. (2015). *Diversidad de hepáticas y musgos en turberas del nevado del Tolima, Colombia*. Caldasia, 36(2), 217-229. <https://doi.org/10.15446/caldasias.v36n2.47479>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983*. Quito, Ecuador, 12. Recuperado de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec>

- Coelho, M. C. M., Gabriel, R., & Ah-Peng, C. (2023). *Characterizing and Quantifying Water Content in 14 Species of Bryophytes Present in Azorean Native Vegetation*. *Diversity*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/d15020295>
- Cortez, G., y Rivera, J. (2022). *Determinación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la estación biológica Guandera*. [Tesis de Pregrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13182>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: Tribunal Constitucional del Ecuador. Registro oficial Nro, 449, 79-93. Recuperado de <https://www.asambleanacional.gob.ec>
- Chilán, N. (2022). *Criterios y orientaciones para la planificación turística sostenible de los humedales de Ecuador*. Universidad de Córdoba (ESP). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=307911>
- Chuncho, C. y Chuncho, G. (2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión*. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71–83. Recuperado a partir de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>
- Churchill, S. y Linares C. (1995). *Introducción a la flora de musgos de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.
- Delao, N. y Evangelista, E. (2012). *Capacidad de retención y cinética de pérdida de agua de Sphagnum magellanicum brid. (musgo blanco) en la microcuenca del río San José de Yuncán - distrito Pampa Hermosa – Satipo*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Delgadillo, C. (2014). *Biodiversidad de Bryophyta (musgos) en México*. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, S100–S105. <https://doi.org/10.7550/rmb.30953>

- Delgadillo, C., Escolástico, D., Hernández, E., Herrera, P., Retes, A. y Juárez, C. (2022). *Manual de Briofitas*. Tercera Edición.
- Delgado, N. y Pérez, A. (2020). *Principales demandas educativas por evaluar en la formación de profesionales en la Universidad de Artemisa, Cuba*. <https://doi.org/10.21158/2357514x.v8.n1.2020.2634>
- Dominguez, E. (2014). *Manual de buenas prácticas para el uso sostenido del musgo Sphagnum magellanicum en Magallanes, Chile*. Boletín INIA N°276. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31900>
- Drouet, P. (2010). *Breve análisis del estado actual de la conservación in situ en el Ecuador en el marco de la conservación de diversidad biológica*. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10217>
- Erazo, D. (2016). *La sequía en Colombia y los musgos como posible solución en productos de diseño*.
- Estébanez, B., Draper, I., y Medina, R. (2011). *Briófitos: una aproximación a las plantas terrestres más sencillas*. Biodiversidad, vol. 19.
- Freire, S. y Bayón, N. (2021). *Apuntes de Sistemática Vegetal*.
- Freire, V., M. Pérez y F. Ramírez. (2004) *Distribución de las hepáticas presentes en el sendero interpretativo “Los Musgos” del Biotopo Universitario para la conservación del Quetzal Lic. Mario Dary Rivera, Purulhá, Baja Verapaz. Guatemala*. Dirección General de Investigación-Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente. Centro de Estudios Conservacionistas, Guatemala.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha. (2016). *Taller II MARISCO. 25 y 26 de octubre de 2016*. Campamento Tabacundo

- GADMPM y GADMO. (2002). *Ordenanza bicantonal para la protección y conservación de la zona de Mojanda*. Tabacundo.
- García, D. y Magaña, K. (2019). *Las briófitas, un mundo en miniatura*. La ciencia en pocas palabras.
- García, M. (2021). *Evaluación del plan de acción aplicado para la reducción del conflicto ser Humano-Oso Andino en Mariano Acosta, Pimampiro*. [Tesis de Pregrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11407>
- Gil, P., Gil, J., Morales, M. y Moreno, D. (2018). *Bosques en miniatura, los briófitos de Cupiagua y Aguazul departamento de Casanare*.
- Gil, J., Cuta, L. y Morales, M. (2018). *Flora no vascular. I La vida en un fragmento de bosque en las rocas: una muestra de la diversidad Andina en Bolívar, Santander*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://doi.org/10.19053/978-958-660-331-7>
- Guamaní, Y. (2020). *Estudio de los musgos epífitos (Bryophyta) presentes en el sendero quishuar del área recreacional el boliche, parque nacional Cotopaxi, Ecuador* (Tesis de Pregrado, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Guzmán, C. y Esquivel, H. (2016). *Diversidad y claves de los musgos del páramo de Anaimé, Cajamarca (Tolima-Colombia)*. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 1(28), páginas-35.
- Guzmán, F. (2020). *Musgos: pequeñas plantas, grandes servicios ecológicos*. Conservarlos es una responsabilidad, sin demérito de tradiciones y costumbres. Gaceta UNAM



- Gradstein, S., Churchill, S. y Salazar, N. (2001). *Guide to the bryophytes of tropical America*. Memoirs of the New York Botanical Garden, 86, 1-577.
- Granada, G. (2018). *Lineamientos y políticas para el manejo del ecoturismo en la microcuenca de la laguna de Mojanda, desde el gobierno local del cantón Pedro Moncayo, Provincia de Pichincha* [Tesis de Pregrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8859>
- Grau, A. (2021). *Plantas y animales de la Sierra de San Javier: Guía visual* (1a edición). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán; CONICETIER: Ediciones del Subtrópico, Fundación ProYungas.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. y Cerra, M. (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. UICN, Quito, Ecuador.
- Hoyos, D. (2018). *Relaciones entre la morfología y las propiedades hidráulicas de los briófitos* (Tesis de Pregrado, Escuela Arquitectura y Diseño).
- Instituto Geográfico Militar. (2013). *Cartas topográficas escala 1:50.000, formato shp*. Recuperado a partir de <http://www.geograficomilitar.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2015). *Georreferenciación Hidrometeorológico*.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). *Registro Oficial No. 305, del 06 de agosto de 2014*. Quito, Ecuador. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>

- León, S., Gradstein, S., Castillo, J., Moscoso, A. y Navarrete, H. (2014). *Guía de briofitas comunes de Los Andes de Quito*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Lombo, Y. (2019). *Distribución Vertical de Briófitos en un Bosque Húmedo Tropical de la Reserva Forestal Buenavista, Villavicencio—Meta*.  
<https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1467>
- López, A. S., López, G. G., & Espinoza, M. del C. F. (2017). *Propuesta de un índice de diversidad funcional. Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental*. *Bosque*, 38(3), 457–466.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173154749003>
- Lozano, C. y Esquivel, H. (2016). *Diversidad y claves de los musgos del páramo de Anaimé, Cajamarca (Tolima-Colombia)*. *REVISTA DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE CIENCIAS BIOLOGICAS*, 1(28), Páginas 35–45.  
Recuperado de <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/123>
- Llambí, L., Soto, A., Célleri, R., y Bièvre, B. de (Eds.). (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino*.
- Manzanilla, G., Mata, J., Treviño, E., Aguirre, Ó., Alanís, E. y Yerena, J. (2020). *Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(61), 94-123. Epub 20 de enero de 2021.<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Mármol M. (2022). *Análisis de pérdida de cobertura vegetal en el área de incendio del páramo Mojanda-Cajas, cantón Otavalo*.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12975>

- Martínez, M., Díaz, C. y Morales, M. (2019). *Los musgos en el complejo de páramos Guantiva-La Rusia en los departamentos de Boyacá y Santander, Colombia*. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 23(1), 15–30. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.1>
- Martínez, M. (2020). *Distribución de musgos (bryophyta) en un gradiente altitudinal en el complejo de páramos Guantiva - La Rusia (Boyacá y Santander, Colombia)*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
- Martínez, N., Franco-Maass, S., Pacheco, E. y Bernal, G. (2017). *El proceso de extracción y comercialización del musgo (Thuidium delicatulum) en el Estado de México*. Ciencia Ergo Sum, 24(1), 44–53. <https://www.redalyc.org/journal/104/10449880005/html/>
- Maynaguez, E. y Tumbaco E. (2019). *Estrategias de control y conservación en relación con la capacidad de almacenamiento hídrico de la laguna Huarmicocha, cantón Pedro Moncayo* (Tesis de Pregrado).
- Mendoza, S. (2017). *Plan de uso público en las lagunas de Mojanda, parroquia Tabacundo, provincia Pichincha* (Tesis de Pregrado, PUCE).
- Merchán, J., Álvarez, J. y Delgado, M. (2011). *Retención de agua en musgos de páramo de los municipios de Siachoque, Toca y Pesca (Boyacá)*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 5(2), 233-243.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Michel, P., Payton, I. J., Lee, W. G., & During, H. J. (2013). *Impact of disturbance on above-ground water storage capacity of bryophytes in New Zealand*

*indigenous tussock grassland ecosystems*. *New Zealand Journal of Ecology*, 37(1), 114–126.

Montenegro, L., Chaparro, M. y Barón, A. (2005). Regulación hídrica en cinco musgos del páramo de Chingaza. Bonilla, M. (Ed.), *Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la Cordillera Oriental de Colombia* (pp. 3-24). Universidad Nacional de Colombia - Unibiblos

Morales, C., Ospino, J., Jiménez, J., Berbén, A. y Negritto, M. (2017). *Briófitas: Un mundo en miniatura*. Boletín de Botánica. Volumen 1. ISSN: 2539-1690

Motito, A. y Rivera, Y. (2017). *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*. (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Briófitas. Pp. 118-133. Editorial AMA, La Habana, 502 pp.

Muñoz, Z. (2023). *Diversidad y distribución ecológica de quirópteros en un escenario presente y futuro dentro de la parroquia Imbaya, provincia de Imbabura* [Tesis de Pregrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14031>

Narváez, J. (2021). *Calidad de agua y estrategias de conservación en el Río Chico, cantón Tulcán, provincia del Carchi*. (Tesis de Pregrado).

Oishi, Y. (2018). *Evaluación de la capacidad de almacenamiento de agua de las briófitas a lo largo de un gradiente altitudinal desde los bosques templados hasta la zona alpina*. *Bosques*, 9 (7), 433.

Pacheco, E. (2012). *Determinación del contenido de ácido ascórbico y la presencia de terpenos en un grupo de briófitas, propias de la zona amazónica norte del Ecuador, expuestas a la acción de una dosis de glifosato*. [Tesis de Pregrado, Quito, 2012.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4677>

- Parra, J., Posada, J. y Calejas, R. (1999). *Guía ilustrada de los briófitos del Parque Arví (Piedras Blancas)* (1. ed). Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Corantioquia: Universidad de Antioquia.
- Pedraza, C. (2022). *Diversidad de musgos epífitos en un bosque andino en el municipio de Rondón - Boyacá*. Biología. <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/130>
- Peñate, L. (2020). *Diversidad taxonómica y funcional de briófitos en diferentes coberturas de un bosque seco tropical, Córdoba-Colombia*. Universidad de Córdoba.
- Pineda, J. y Prieto, G. (2019). *La educación ambiental en la enseñanza y aprendizaje en la educación básica*. Rastros y Rostros del Saber, 3(4), 25–32. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/rastrosyrostros/article/view/9186>
- Porras, S. y Morales, M. (2020). *Distribución altitudinal de musgos en algunos sustratos en Tipacoque, Colombia*. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 24(1), 15–30. <https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.1.1>
- Puedmag, V., y Vélez, G. (2022). *Diversidad florística y cambio de cobertura vegetal en la reserva Siempre Verde, cantón Cotacachi* [Tesis de Pregrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13362>
- Ramírez, B., Solarte, V. y Ramírez, P. (2018). *Musgos del valle seco del Patía, suroccidente de Colombia: Riqueza, ecología y biogeografía*. Biota Colombiana, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19n02a01>
- Rams, S. (2008). *¿Para qué sirven los musgos después de la Navidad? Primera parte: El papel ecológico de los briófitos*. Eubacteria, n° 20.
- Ríos, M. (2017). *Diversidad de musgos de los Biotopos Cerro Cahú y San Miguel La Palotada-El Zotz, Petén*. USAC. Guatemala.

- Romo R. (2019). *Gestión del turismo en Áreas Naturales Protegidas*. InnoG, (5), 21-30. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/innovag/article/view/21292>
- Ruiz, S. (2017). *Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda*.
- Sahoo, A. (2022). *Polytrichum: Distribution, Structure, Reproduction*. Recuperado de <https://biologylearner.com/polytrichum-distribution-structure-reproduction/>
- Salinas, J., Gomez, C., & Poblete, P. (2021). *El mercado del musgo Sphagnum y su importancia como un PFNM en las comunidades rurales de la región de Aysén* (p. 275).
- Salmerón, A., Geadá, G., y Fagilde, M. (2017). *Propuesta de un índice de diversidad funcional: Aplicación a un bosque semidecíduo micrófilo de Cuba Oriental*. *Bosque* (Valdivia), 38(3), 457–466. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300003>
- Santos, B., y Gutiérrez, A. (2022). *Estructuras de musgo como alternativa para contrarrestar los niveles de contaminación del aire*. Escuela de Educación Superior Tecnológica Privada Toulouse Lautrec.
- San Nicolás, D. (2017). *Sphagnum y sus microbiontes, una fuente prolífica de aplicaciones*. Universidad de La Laguna
- Sánchez, C. (2012). *Ensayo sobre los Musgos en México*. Revista Vinculando.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Información para la Planificación y Ordenamiento Territorial*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*.

- Serrano, Y. (2015). *Estudio poblacional de los musgos de diferentes sectores con alteración ecológica en el municipio de Bayamón, Puerto Rico*. [Tesis de Pregrado]
- Silva, C. y Ruiz, C. (2020). *Turismo en áreas protegidas: caso de estudio Ecuador*. *Recinatur International Journal of Applied Sciences, Nature and Tourism*, 2(1), Article 1. <https://revistasoj.s.utn.edu.ec/index.php/recinatur/article/view/412>
- Sistema Nacional de Información. (s.f.). Geoportales. Recuperado de <https://sni.gob.ec/>
- Sgarlatta, M. (2015). *Análisis de la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de peces de arrecifes rocosos y de bosques de macroalgas de Baja California, México*. México (Tesis de Maestría), CICESE, Ensenada, Baja California, México.
- Weston, D., Timm, C., Walker, A., Gu, L., Muchero, W., Schmutz, J., Shaw, A., Tuskan, G., Warren, J. y Wullschleger, S. D. (2015). *Sphagnum physiology in the context of changing climate: Emergent influences of genomics, modelling and host-microbiome interactions on understanding ecosystem function*. *Plant, Cell & Environment*, 38(9), 1737–1751.  
<https://doi.org/10.1111/pce.12458>
- Tapia, C. (2008). *Crecimiento y productividad del musgo Sphagnum magellanicum Brid. En turberas secundarias de la provincia de Llanquihue, Chile*. <http://biblioteca.cehum.org/handle/CEHUM2018/1377>
- Terán, A., Pinto, E., Cuesta, F., Ortiz, E., Salazar, E. y Suárez, C. (2019). *Conservación y Uso Sostenible de los Páramos de Tungurahua*. Conocer para manejar. Proyecto EcoAndes, CONDESAN. Quito – Ecuador.
- Toapanta, E. (2011). *Checklist de musgos del Ecuador*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/501>

- Urgiles, N., Cofre, D., Loján, P., Maita, J., & Báez, S. (2018). *Información de las plantas no vasculares en área en un páramo del sur del Ecuador*.
- Vásquez, J. (2008). *Características anatómicas, propiedades físicoquímicas y capacidad de retención de agua en gametofitos de Sphagnum maguellanicum Brid. en un gradiente longitudinal*. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Veracierto, R., Ormaza, M., y Armas, V. (2021). *Educación ambiental y ruralidad: Reflexiones para el contexto ecuatoriano*. Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0, 25(2), Article 2. <https://doi.org/10.46498/reduipb.v25i2.1528>
- Villa, P., Cardinelli, L., Magnago, L., Heringer, G., Venâncio, S., Campos, P., Rodrigues, A., Neri, A. y Alves, J. (2018). *Relación especie-área y distribución de la abundancia de especies en una comunidad vegetal de un inselberg tropical: Efecto del tamaño de los parches*. Revista de Biología Tropical, 66(2), 937–951. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33424>
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., y Umaña, A. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*.
- Wildlife Conservation Society (2020). *Diseño de una hoja de ruta para la conservación y gestión sustentable de turberas de Chile*. Informe final.
- Zepeda, C., Ávila, P., Díaz, U., Alanís, Y., Zarazúa, G. y Chávez, A. (2014). *Diversidad de musgos epifitos de la zona metropolitana del valle de Toluca, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(1), 108–124. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5315446>



## ANEXOS

### Anexo 1. Datos del contenido hídrico y capacidad máxima de retención de agua

Orden	Familia	Especie	PFRES (gr)	PSAT (gr)	PSEC (gr)	CH (%)	CMRA (%)
Bartramiales	Bartramiaceae	<i>Breutelia sp1.</i>	41	62	7	586	886
		<i>Breutelia sp2.</i>	28	50	5	560	1000
Bryales	Bryaceae	<i>Bryum sp1.</i>	46	71	21	219	338
		<i>Bryum sp2.</i>	23	50	3	767	1667
Dicranales	Archidiaceae	<i>Ceratodon sp.</i>	52	99	13	400	762
	Dicranaceae	<i>Holomitrium sp</i>	56	133	15	373	887
		<i>Dicranella sp.</i>	35	71	9	389	789
		<i>Dicranum sp.</i>	52	69	6	867	1150
	Leucobryaceae	<i>Campylopus sp1.</i>	69	88	17	406	518
		<i>Campylopus sp2.</i>	40	64	4	1000	1600
	Hypnales	Brachytheciaceae	<i>Platyhypnidium sp.</i>	13	22	1	1300
Hypnaceae		<i>Hypnum sp.</i>	47	95	10	470	950
Hylocomiaceae		<i>Pleurozium sp.</i>	15	43	5	300	860
Neckeraceae		<i>Neckera sp.</i>	18	42	4	450	1050
Pylaisiaceae		<i>Calliergonella sp.</i>	36	68	9	400	756
Scorpidiaceae		<i>Scorpidium sp.</i>	160	168	8	2000	2100
Thuidiaceae		<i>Thuidium sp.</i>	47	86	10	470	860
Polytrichales	Polytrichaceae	<i>Polytrichadelphus sp1.</i>	25	34	10	250	340
		<i>Polytrichadelphus sp2.</i>	40	51	10	400	510
		<i>Polytrichum sp.</i>	28	39	13	215	300
Pottiales	Pottiaceae	<i>Pseudocrossidium sp.</i>	23	58	4	575	1450
Sphagnales	Sphagnaceae	<i>Sphagnum sp.</i>	127	139	6	2117	2317

*Nota.* Los valores de peso fresco (PFRES), peso saturado (PSAT) y peso seco (PSEC), fueron medidos en gramos (gr), mientras que los valores del contenido hídrico (CH) y capacidad máxima de retención de agua (CMRA) están expresados en porcentajes (%).

## Anexo 2. Autorización de recolección de musgos otorgado por el MAATE

**Gobierno del Ecuador**  
GUILLERMO LASSO  
PRESIDENTE

**AUTORIZACIÓN DE RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA No. 3058**

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

**1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA**

**2.- CÓDIGO**  
MAATE-ARFC-2023-3058

**3.- DURACIÓN DEL PROYECTO**

FECHA INICIO	FECHA FIN
2023-01-10	2023-01-10

**4.- COMPONENTE A RECOLECTAR**

Plantas:

El Ministerio del Ambiente y Agua, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

**5.- INVESTIGADORES / TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCIÓN**

Nº de C.I.Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO BENEFICIARIO	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
1002364164	DR. ROCHDA YAMBA ZUIGARAY	Ecuatoriana	1015-2017-186576		Reyesida

**6.- PARA QUE LLEVEN A CABO LA RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA:**  
Nombre del Proyecto: EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE AGUA EN MUSGOS EN LOS PÁRAMOS DE MOJANDA PROVINCIA DE IMBABURA

**7.- SE AUTORIZA LA RECOLECCIÓN CON EL PROPOSITO DE:**

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica  
Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía  
Codigo postal: 170205 / Quito-Ecuador  
Teléfono: +593 2 398 7900  
www.mambiente.gob.ec

**Gobierno del Ecuador**  
GUILLERMO LASSO  
PRESIDENTE

Evitar la retención de agua en musgos en los páramos de Moajanda, provincia de Imbabura.

Determinar el contenido fítico de las muestras de musgos.

Definir estrategias para la conservación de musgos en los páramos de Moajanda.

Caracterizar a diversidad de los musgos en los páramos de Moajanda.

**8.- ÁREA GEOGRÁFICA QUE CUBRE LA RECOLECCIÓN DE LAS ESPECIES O ESPECIMENES:**

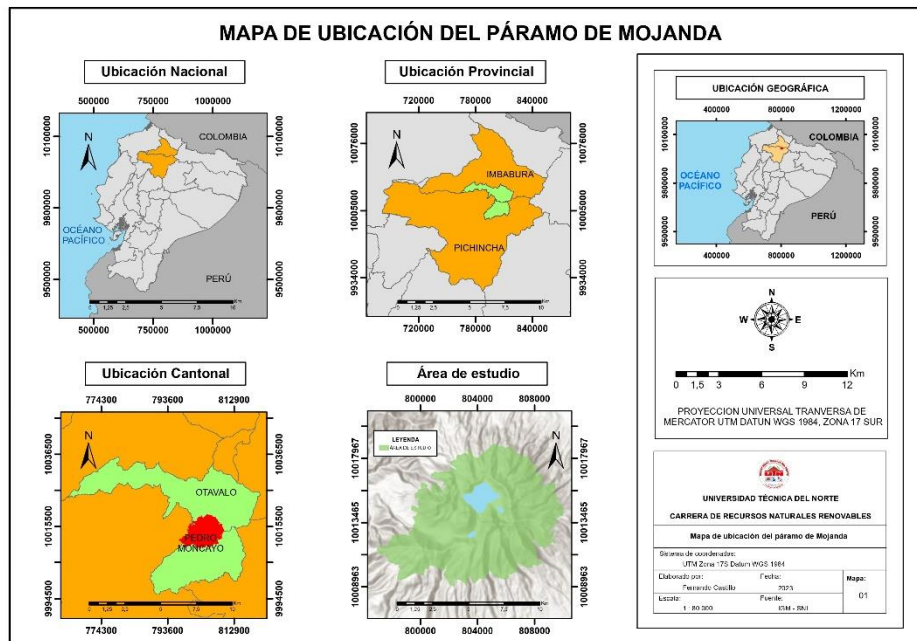
PROVINCIAS	SNAP	BOSQUE PROTECTOR
IMBABURA	NA	NA

**9.- INFORMACIÓN DE LAS ESPECIES A RECOLECTAR**

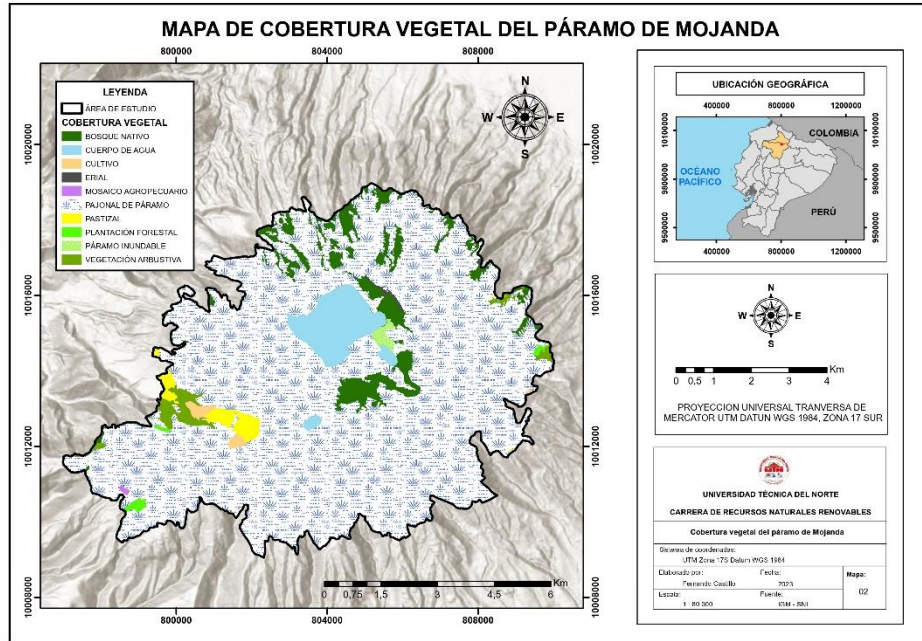
CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	TIPO MUESTRA	Nº MUESTRA	Nº LOTE
Bryophyta	Liveriales	Leucomitriaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Primales	Meteoriaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Primales	Hypnoidaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Funariales	Funariaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Primales	Entodontaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Dicranales	Leucobryaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Dicranales	Dicranaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Dicranales	Calyptracaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Bryaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Bryaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Auxaniaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Primales	Blaugytrichaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Wiliaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Auxaniaceae	NA	NA	Musgo	3	
Bryophyta	Bryales	Bryaceae	NA	NA	Musgo	3	

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica  
Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía  
Codigo postal: 170205 / Quito-Ecuador  
Teléfono: +593 2 398 7900  
www.mambiente.gob.ec

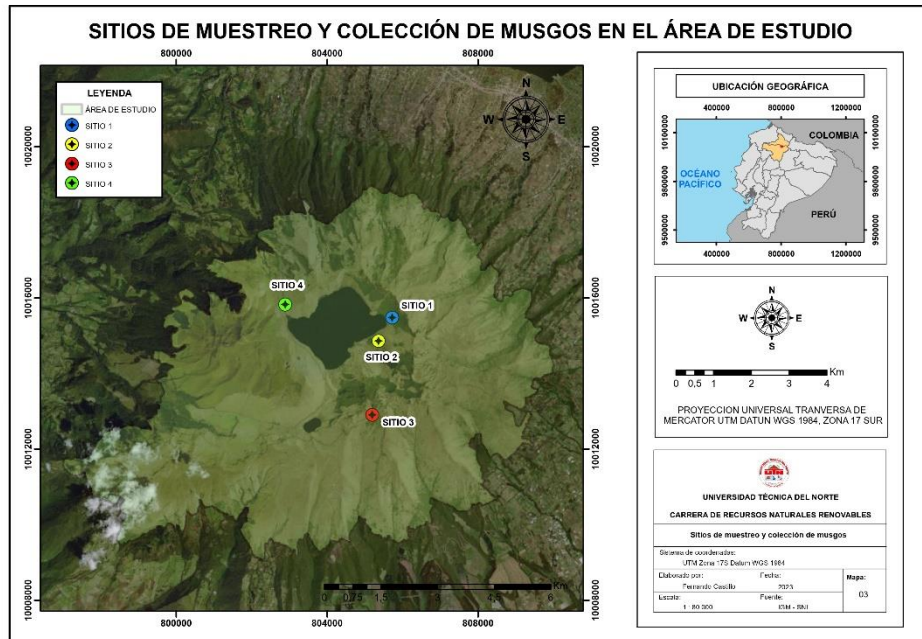
## Anexo 3. Ubicación del área de estudio



## Anexo 4. Mapa de cobertura vegetal



## Anexo 5. Sitios de muestreo y colección de musgo



**Anexo 6.** Sitio 1 de muestreo y colección de musgos



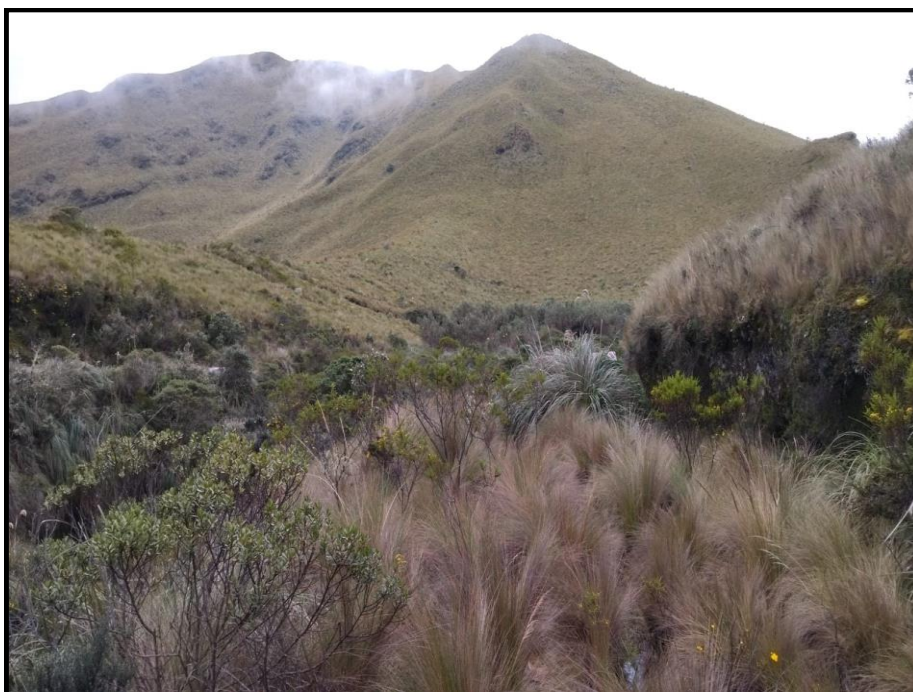
**Anexo 7.** Sitio 2 de muestreo y colección de musgos



**Anexo 8.** Sitio 3 de muestreo y colección de musgos



**Anexo 9.** Sitio 4 de muestreo y colección de musgos



**Anexo 10.** Aplicación del cuadrante para medir diversidad



**Anexo 11.** Extracción de musgo en campo



## Anexo 12. Saturación de musgos en laboratorio



## Anexo 13. Secado de musgos en estufa



Anexo 14. Musgos presentes en el páramo de Mojanda

Mojanda, Imbabura, Ecuador				1
MUSGOS DEL PÁRAMO MOJANDA				
Castillo Fernández Andy Fernando <sup>1</sup> y Oña Rocha Tania Elizabeth <sup>2</sup>				
<sup>1</sup> Universidad Técnica del Norte & <sup>2</sup> Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte				
Ibarra-Ecuador				
Fotos: Fernando Castillo [afcastillof@utn.edu.ec]. Producido por Fernando Castillo y Tania Oña				
				
1	<i>Breutelia sp1.</i> <b>BARTRAMIACEAE</b> XX	2	<i>Dicranella sp.</i> <b>DICRANACEAE</b> XX	3
				4
				5
				6
				7
				8
				9
				10
				11
				12
				13
				14
				15
				16
				XX



**Mojanda, Imbabura, Ecuador**  
**MUSGOS DEL PÁRAMO MOJANDA**


**2**

Castillo Fernández Andy Fernando<sup>1</sup> y Oña Rocha Tania Elizabeth<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte & <sup>2</sup>Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte

Ibarra-Ecuador

Fotos: Fernando Castillo [afcastillof@utn.edu.ec]. Producido por Fernando Castillo y Tania Oña

			
17 <i>Polytrichadelphus sp.</i> <b>POLYTRICHACEAE</b> XX	18 <i>Ceratodon sp.</i> <b>ARCHIDIACEAE</b> XX	19 <i>Hypnum sp.</i> <b>HYPNACEAE</b> XX	20 <i>Campylopus sp.</i> <b>LEUCOBRYACEAE</b> XX
			
21 <i>Calliergonella sp.</i> <b>PYLAIACEAE</b> XX	22 <i>Pleurozium sp.</i> <b>HYLOCOMIACEAE</b> XX		