

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**DIVERSIDAD DE ESPECIES DE BRIOFITAS  
EMPLEANDO DNA-BARCODING EN EL ÁREA DE  
CONSERVACIÓN PRIVADA COMUNAL SAN PABLO-  
CATARATA DE GOCTA, AMAZONAS**

**Autor : Bach. Johann Emiliano Oyola Maslucan**

**Asesor: Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos**

**Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo**

Registro:

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2023**

# AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



## ANEXO 3-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Oyola Maslucan Johann Emiliano  
DNI N°: 73189780  
Correo electrónico: 7318978072@untrm.edu.pe  
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental  
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Facultad: \_\_\_\_\_  
Escuela Profesional: \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Diversidad de especies de bromélias empleando DNA barcoding en el Área de Conservación Hivada Comunal San Pablo - Catarata de Cocha, Amazonas

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Calderón Ríos Martha Steffany  
DNI, Pasaporte, C.E.N°: 44290495  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0003-3644-340X>

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Bustamante Mostajo Danilo Edson  
DNI, Pasaporte, C.E.N°: 43496105  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-5999-6993>

#### 4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
2.09.00 - Ingeniería Ambiental ; 1.06.03 - Bioquímica, Biología molecular

#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 22 de Diciembre de 2023

  
Firma del autor 1

  
Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

  
Firma del Asesor 2

## DEDICATORIA

*En primer lugar, a Dios por brindarme  
la vida, salud y guiarme en el camino.*

*A mi madre Maritza Maslucan Villatiz  
por su constante esfuerzo, paciencia y  
apoyo para lograr mis metas.*

*A mis hermanos Lily Aurelia Duque  
Maslucan y Harold Farje Maslucan por  
su ayudarme y motivarme a cumplir mis  
objetivos.*

*A mi padre Emiliano Oyola Mio, y  
abuelo Francisco Maslucan Mori  
quienes ya no se encuentran conmigo,  
pero siempre los tengo presente.*

## AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias a dios por haberme dirigido y permitido cumplir este objetivo, por darme las fuerzas de terminar mi carrera profesional y no rendirme en el camino. Asimismo, agradezco a aquellos docentes y amigos que formaron parte de mi formación profesional.

A mis asesores Ph.D. Martha Steffany Calderon Ríos y Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo por su dedicación, apoyo, consejos, comprensión, amistad y sobre todo por su paciencia en el desarrollo del proyecto de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) mediante el concurso Tesis y Pasantías en Ciencia, Tecnología e Innovación por el financiamiento de este proyecto titulado “Diversidad de especies de briofitas empleando DNA barcoding en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Catarata de Gocta, Amazonas” con número de contrato PE501081701- 2022, lo cual hizo posible la realización de este proyecto de investigación.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentables de Ceja de Selva (INDES - CES), en especial al área de biología molecular del laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISOBVEG), por presar sus ambientes para realizar los análisis, asimismo, al equipo de trabajo del laboratorio por su apoyo.

A mi madre Maritza Maslucan Villatiz, su apoyo incondicional a lo largo del proceso de mi formación académica, a hermanos Lily Aurelia Duque Maslucan y Harold Farje Maslucan haberme apoyado y a mis demás familiares por haber confiado en mí.

Agradezco a mi alma mater Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza por brindarme conocimiento, amigos y experiencia que contribuyeron a mi desarrollo personal y profesional.

Finalmente agradezco a todos los lectores que se tomen el tiempo de leer el presente estudio de investigación, muchas gracias a todos.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana**  
RECTOR

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**  
VICERRECTOR ACADÉMICO

**Dra. María Nelly Luján Espinoza**  
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

**Ph. D. Ricardo E. Campos Ramos**  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

## VISTO BUENO DE LA ASESORA DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Diversidad de especies de Briofitos empleando DNA Barcoding en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo - Catarata de Gocta, Amazonas; del egresado Johann Emiliano Oyola Masluca de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 23 de Noviembre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Martha Stefany Calderón Ríos



# VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL




## ANEXO 3-L

### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Diversidad de especies de Briofitas empleando DNA Barcoding en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo - Catarata de Gocta, Amazonas ; del egresado Johann Emiliano Oyola Maslucan de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 23 de noviembre de 2023

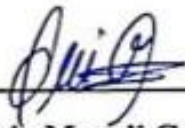
  
Firma y nombre completo del Asesor  
David E. Bustamante Mostajo

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



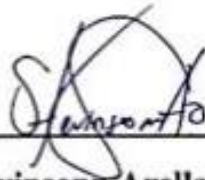
---

**Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz**  
**PRESIDENTE**



---

**Dra. Ligia Magali García Rosero**  
**SECRETARIO**



---

**Dr. Erick Stevinson Arellanos Carrión**  
**VOCAL**



# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Diversidad de especies de Briofitos empleando DNA Barcoding en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo - Catarata de Gocta, Amazonas  
presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Bach. Johann Emiliano Oyola Masturay  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
con correo electrónico institucional 7318978072@untrm.edu.pe  
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 14 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 29 de Noviembre del 2023

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
VOCAL

[Signature]  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



ANEXO 3-5

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 11 de Diciembre del año 2023, siendo las 15:00 horas, el aspirante: Johann Emiliano Oyola Maslucan, asesorado por PhD Martha Steffany Calderon Rius y PhD Danilo Bustamante tiene en sesión pública presencial (  ) a distancia (  ) la Tesis titulada: Diversidad de Especies de Biofitas empleando DNA-Barcoding en el área de conservación privada comunal San Pablo Cataratas de Cocha, Amazonas, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz  
Secretario: Pro. Ligia Magali Corúa Rosero  
Vocal: Dr. Erick Stevenson Arellano Carrisi.

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.



Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (  ) por Unanimidad (  ) / Mayoría (  ) Desaprobado (  )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 15:57 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Firma]  
SECRETARIO

[Firma]  
VOCAL

[Firma]  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	xviii
<b>ABSTRACT</b> .....	xix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	20
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
<b>2.1. Determinación de especies de briofitos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta empleando el marcador molecular <i>rbcL</i></b> .....	23
2.1.1. Área de estudio .....	23
2.1.2. Estrategia de Muestreo .....	23
2.1.3. Análisis molecular para identificación de especies .....	27
2.1.4. Análisis de datos bioinformáticos .....	33
<b>2.2. Evaluación de la variación de la diversidad de especies de briofitas a lo largo de la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, Amazonas.</b> .....	33
2.2.1. Riqueza de especies .....	33
2.2.2 Análisis de datos de diversidad de especies.....	34
<b>III. RESULTADOS</b> .....	35
<b>3.1. Determinación de especies de briofitos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta empleando el marcador molecular <i>rbcL</i></b> .....	35
3.1.1. Bryophyta (Musgos) .....	40
3.1.2. Marchantiophyta (Hepáticas).....	56
<b>3.2. Evaluación de la variación de la diversidad de especies de briofitas a lo largo de la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, Amazonas.</b> .....	70
3.2.2. Índices de diversidad. ....	70
3.2.3. Similitud de composición de especies. ....	73
<b>IV. DISCUSIÓN</b> .....	75
4.1. Bryophyta (musgos).....	75

4.2. Marchantiophyta (Hepáticas) .....	80
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos de la colecta de especímenes de Briofitos en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Cataratas de Gocta. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de PCR para amplificar el marcador rbcL en briofitos. ....	30
Tabla 3: Porcentaje de identidad de muestras colectadas en la ACP San Pablo-Catarata de Gocta con especies depositadas en la base GenBank. ....	36
<b>Tabla 4.</b> Nuevos reportes de especies de Musgos y Hepáticas para Perú.....	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa Ecológico del Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – catarata de Gocta.....	24
<b>Figura 2.</b> Proceso de la preparación de las muestras previo a la extracción de ADN. ..	28
<b>Figura 3.</b> Proceso para la extracción de ADN de briofitos. ....	29
<b>Figura 4.</b> Proceso de amplificación mediante PCR de la región plastidial rbcL de briofitos.....	31
<b>Figura 5:</b> Edición de secuencias del marcador rbcL utilizando Chromas v 2.6.6. ....	35
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de identidad de muestras colectadas en la ACP San Pablo-Catarata de Gocta en base a Gen Bank. ....	40
<b>Figura 7.</b> Gráfico circular representando la predominancia de especies de briofitas encontradas en la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, el orden de Hypnales resultó ser el orden con el mayor número de especies, géneros y familias, mientras que el orden Polytrichales contiene solo una especie.....	41
<b>Figura 8.</b> Árbol filogenético para el orden Bryales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	43
<b>Figura 9.</b> Especies de musgos de las familias Bartramiaceae, Bryaceae, Catosciaceae y Rhizogoniaceae pertenecientes al orden Briales. Escala = 1cm. ....	44
<b>Figura 10.</b> Árbol filogenético para el orden Dicranales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	45
<b>Figura 11.</b> Especies de musgos de la familia Dicranaceae perteneciente al orden Dicranales. Escala = 1cm.....	45
<b>Figura 12.</b> Especies de musgos de las familias Daltoniaceae y Hookeriaceae perteneciente al orden Hookeriales. Escala = 1cm. ....	46
<b>Figura 13.</b> Árbol filogenético para el orden Hypnales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud	

se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	48
<b>Figura 14.</b> Especies de musgos de las familias Brachytheciaceae, Entodonaceae, Hypnaceae, Myuriaceae, Sematophyllaceae y Thuidiaceae perteneciente al orden Hypnales. Escala = 1cm.....	49
<b>Figura 15.</b> Árbol filogenético para el orden Isobryales y Polytrichales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	50
<b>Figura 16.</b> Especies de musgos de las familias Prionodontaceae y Trachypodaceae perteneciente al orden Isobryales. Escala = 1cm. ....	51
<b>Figura 17.</b> Árbol filogenético para el orden Leucodontales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	52
<b>Figura 18.</b> Especies de musgos de las familias Hedwigiaceae, Neckeraceae, Cryphaeaceae y Pterobryaceae perteneciente al orden Leucodontales. Escala = 1cm. ..	52
<b>Figura 19.</b> Especie de musgos de la familia Polytrichaceae perteneciente al orden Polytrichales. Escala = 1cm. ....	53
<b>Figura 20.</b> Árbol filogenético para el orden Pottiales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	54
<b>Figura 21.</b> Especies de musgos de la familia Pottiaceae perteneciente al orden Pottiales. Escala = 1cm.....	54

<b>Figura 22.</b> Árbol filogenético para los órdenes Sphagnales y Hookeriales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	55
<b>Figura 23.</b> Especies de musgos de la familia Sphagnaceae perteneciente al orden Sphagnales. Escala = 1cm.....	56
<b>Figura 24.</b> Gráfico Krona representando la predominancia de especies de hepáticas en porcentajes encontradas en la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta.....	56
<b>Figura 25.</b> Gráfico circular representando la predominancia de especies de hepáticas encontradas en la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta. El orden Porellales junto con Jungermanniales muestran dominancia frente a grupos como Marchantiales el cual solo posee una especie. ....	57
<b>Figura 26.</b> Árbol filogenético para el orden Metzgeriales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	58
<b>Figura 27.</b> Especies de hepáticas de la familia Anauraceae y Metzgeriaceae perteneciente al orden Metzgeriales. Escala = 1cm. ....	59
<b>Figura 28.</b> Árbol filogenético para los órdenes Marchantiales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	60
<b>Figura 29.</b> Especie de hepáticas de la familia Aytoniaceae perteneciente al orden Marchantiales. Escala A = 1cm, escala B = 2cm.....	60
<b>Figura 30.</b> Árbol filogenético para el orden Jungermanniales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de	

sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	62
<b>Figura 31.</b> Especies de hepáticas de las familias Herbertaceae, Lepidoziaceae, Plagiochilaceae, Trichocoleaceae perteneciente al orden Jungermanniales. Escala = 1cm. ....	63
<b>Figura 32.</b> Árbol filogenético para el orden Porellales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial rbcL. Valores de bootstrap de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul. ....	65
<b>Figura 33.</b> Especies de hepáticas de las familias Frullaniaceae, Lejeuneaceae, Porellaceae y Radulaceae perteneciente al orden Porellales. Escala = 1cm. ....	66
<b>Figura 34.</b> Diagrama de caja de la riqueza y diversidad de especies según el índice de Shannon y Simpson. bh- MBT (bosque húmedo montano bajo tropical), bs-MBT (bosque seco montano bajo tropical) y bs-PT (bosque seco premontano tropical) representan las tres zonas de vida. ....	70
<b>Figura 35.</b> Riqueza de especies por cada punto de colecta. El punto 22 presenta mayor número de especies de briofitos, mientras que el punto 2 registra el menor número especies de briofitos. ....	71
<b>Figura 36.</b> Gráfico de abundancia de especies en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. ....	72
<b>Figura 37.</b> Especies predominantes en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. ....	73
<b>Figura 38.</b> Dendograma del análisis de conglomerados de las zonas de vida bs-PT (Puntos 1-15), bs-MBT (Puntos 16-30) y bh-MBT (Puntos 31-45). La zona bs-PT y bs-MBT presentan similitud en la composición de sus especies. ....	74

## RESUMEN

Los briofitos comprenden tres linajes distintos de plantas inferiores, denominados hepáticas, musgos y antoceros, los cuales representan los organismos más antiguos entre las plantas terrestres. Estos individuos son un componente significativo de la mayoría de las comunidades vegetales, jugando un rol importante en el régimen de procesos ecológicos en el ecosistema. Sin embargo, en el ACP Comunal San Pablo - Catarata de Gocta no existen registros de la diversidad de este grupo de plantas, a pesar de formar parte del territorio de las yungas peruanas, la cual es considerada como hotspots de biodiversidad. En este sentido, en el presente estudio se caracterizó la diversidad de briofitos dentro de la ACP empleando el gen *rbcL* (ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa) como DNA barcode. Además, se utilizaron los índices de diversidad de Shannon – Wiener y Simpson para evaluar la riqueza de especies dentro de las tres zonas de vida del ACP [bosque seco premontano tropical (bs-PT), bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT) y bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT)]. Se colectó un total de 139 individuos, de los cuales se identificaron de 83 especies, ubicadas en 49 géneros, 33 familias y 13 órdenes de briofitas. Las especies predominantes fueron *Boulaya* sp., *Dicranolejeunea axillaris* y *Frullania cuencensis*. Por otro lado, los índices de diversidad demostraron que el ACP posee una alta diversidad de briofitos, ya que los valores oscilaron entre 2.85 - 3.85 para Shannon y 0,93 - 0,97 para Simpson. Esta investigación permite conocer la brioflora del ACP empleando herramientas moleculares y fortalecer la conservación de la biodiversidad, y que van alineados al objetivo principal de la creación de la ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta.

Palabras clave: Análisis filogenético, Hepáticas, índices de diversidad, musgo, *rbcL*, zona de vida.



## ABSTRACT

Bryophytes comprise three distinct lineages of lower plants, called liverworts, mosses and anthocerans, which represent the oldest organisms among terrestrial plants. These individuals are a significant component of most plant communities, playing an important role in the regime of ecological processes in the ecosystem. However, in the ACP Comunal San Pablo - Catarata de Gocta, despite being part of the Peruvian Yungas territory, which is considered as biodiversity hotspots, there is no record of the diversity of this group of plants. In this sense, the present study characterized the diversity of bryophytes within the PCA using DNA barcoding, being the *rbcL* gene (ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase) the molecular marker used. In addition, the Shannon-Wiener and Simpson diversity indices were used to evaluate species richness within the three life zones of the PCA [premontane tropical dry forest (bs-PT), low montane tropical dry forest (bs-MBT) and low montane tropical moist forest (bh-MBT)]. A total of 139 individuals were collected, of which 83 species were identified, located in 49 genera, 33 families and 13 orders of bryophytes. The predominant species were *Boulaya* sp, *Dicranolejeunea axillaris* and *Frullania cuencensis*. On the other hand, the diversity indices showed that the ACP has a high diversity of bryophytes, since the values ranged between 2.85 - 3.85 for Shannon and 0.93 - 0.97 for Simpson. This research allows knowing the bryoflora of the ACP using molecular tools and allows strengthening biodiversity conservation, the main objective of the creation of the San Pablo - Catarata de Gocta Communal ACP.

**Key words:** Diversity indices, Hepatics, Life zone, Moss, *rbcL*, Phylogenetic analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

Los briofitos, denominados así coloquialmente, representan los organismos más antiguos de las plantas terrestres (Liu et al., 2010). Estos individuos, comprenden tres linajes distintos de plantas inferiores llamadas hepáticas (Marchantiophyta), musgos (Bryophyta) y antoceros (Anthocerotophyta) (Chang, 2011). Este conjunto de plantas es el segundo grupo más grande de plantas terrestres después de las angiospermas (Chandra et al., 2017), y reportan alrededor de 20 000 especies en todo el mundo (Linde et al., 2021), siendo los musgos los más abundantes con 12 000 especies, seguida por las hepáticas con 7 000 y los antoceros con un total 250 especies registradas (Abaigar, 2021).

Los briofitos a pesar de ser plantas poco conocidas por la mayoría de las personas debido a su pequeño tamaño y su uso principalmente ornamental (Chandra et al., 2017), no deben ser subestimadas, ya que son de gran importancia ecológica (Liu et al., 2010). Los briofitos son un componente fundamental, integral y significativo de la mayoría de las comunidades vegetales y juegan un rol importante en el régimen de procesos ecológicos en el ecosistema (Wolski & Kruk, 2020). Dentro de las principales características de los briofitos resalta su éxito de establecerse en hábitats que no son fáciles de colonizar por las plantas vasculares (Pakeman et al., 2019), y además, son excelentes bioindicadores ambientales (Wierzcholska et al., 2020). Asimismo, son importantes reguladores del ciclo del agua en bosques y turberas (Zepeda et al., 2014), contribuyen a reducir la erosión del suelo, fijan importantes cantidades de carbono atmosférico y liberan oxígeno para purificar el ambiente (Abaigar, 2021). Por otra parte, los briofitos sirven como hogar para un gran número de animales invertebrados, y son utilizados por pequeños mamíferos y aves como material para la fabricación de sus nidos (Larraín & Bahamonde, 2017).

La identificación de estas plantas con el uso de técnicas tradicionales (p.ej. identificación morfológica) es limitada a causa de su simplicidad anatómica (Lang et al., 2014), alta plasticidad morfológica (Grundmann et al., 2006) y su amplia distribución geográfica. Para ello, es importante el uso de técnicas complementarias como el DNA-barcoding para su óptima identificación (Eugenie et al., 2021). El DNA barcoding es una herramienta biotecnológica emergente de identificación y clasificación molecular (Yu et al., 2021), que ha adquirido una enorme fuerza en los últimos 20 años (Centre for Biodiversity Genomics & University of Guelph, 2021). Esta herramienta se basa en el uso de una o varias regiones cortas de ADN (Jiang et al., 2020), las cuales son un patrón único de

secuencia de nucleótidos de ADN que tiene el potencial de identificar cada ser vivo (Ballesteros et al., 2021). El DNA barcoding necesita bibliotecas de referencia de secuencias de taxones identificados (Weigand et al., 2019). Esta base de datos de referencia, le permite comparar secuencias de ADN de organismos no identificados con secuencias de taxones previamente identificados (Grant et al., 2021). Dos de las bibliotecas de referencia de códigos de barras de ADN más representativas son el Barcode of Life Data System (BOLD) y GenBank (Weigand et al., 2019). Para ello, el flujo de trabajo del código de barras de ADN comienza con la colecta de especímenes, seguida de la extracción de ADN, la amplificación por PCR de la región del código de barras y su posterior análisis de la secuencia (CBG & U of G, 2021).

A lo largo del tiempo, diversos estudios realizados han demostrado la utilidad de varios marcadores moleculares para inferir delimitaciones e identificar especies en briofitos (Lang et al., 2014). Liu et al. (2010) revelaron que los marcadores *rbcL*, *rpoC1*, *rps4*, *trnH-psbA* y *trnL-trnF* son regiones potencialmente óptimas para ser usados como DNA-barcodes en briofitos. Sin embargo, Liu et al. (2014) confirmaron que el marcador *trnH-psbA* es el mejor código de barras en musgos, mientras que el *rps4* serviría como un buen locus complementario. Del mismo modo, Lang et al. (2014) comprobaron que los marcadores ITS, *trnH-psbA*, *trnL-F* y *rps4-trnT* poseían mayor capacidad de discriminación de especies de briofitos. Adicionalmente, Slipiko et al. (2020) recomendaron los genes *ndhB* y *ndhH* y el espaciador *trnT-trnL* para discriminar hepáticas.

La identificación óptima de las especies de briofitos permite la evaluación de la diversidad de especies mediante la determinación de su riqueza y la abundancia (Kumar et al., 2019), empleando índices de diversidad (Perrin & Waldren, 2020). Los índices de diversidad pretenden representar el conjunto de datos sobre la abundancia y el número de especies presentes en una comunidad en un único número a partir del cual se infiere la estructura de la comunidad (variación, distribución, diversidad) (Kumar et al., 2019). Existen una variedad de índices que miden estos parámetros como el índice de Shannon, Simpson, Renyi, Weiner, entre otros (Valle & Astorkiza, 2018). Sin embargo, los índices más utilizados son el índice de dominancia de Simpson y los índices de diversidad de Shannon (Kumar et al., 2019). El primero pondera la abundancia de las especies más comunes, mientras que el segundo pondera todas las especies por su frecuencia, sin favorecer a las especies frecuentes o extrañas (Pavoine & Ricotta, 2019).

El Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Cataratas de Gocta fue creada en el año 2019, mediante la R.M N°15-2019-MINAM (MINAM, 2019). Esta ACP abarca zonas de yunga peruana y pajonales, las cuales son consideradas hotspots de diversidad de especies (MINAM, 2019; Cervera et al., 2020; Naturaleza y cultura internacional, 2020). La finalidad última de esta ACP es la conservación de la diversidad de especies de flora y fauna (MINAM, 2019). Para ello, actualmente se han desarrollado estudios de diversidad de plantas vasculares (Cervera et al., 2020), aves y mamíferos (García, 2016). Sin embargo, no existe un registro detallado de la diversidad de otros numerosos organismos, entre ellos los briofitos. Sumado a ello, la ACP Comunal San Pablo – Cataratas de Gocta presenta un incremento en la afluencia turística, la cual experimentó un aumento del 16,1% en el 2019 (MINCETUR, 2020). Estos fenómenos pueden perturbar el ecosistema y tener efectos negativos en la riqueza de especies plantas superiores y briofitos de una determinada zona (Ren et al., 2021). Este escenario genera la necesidad urgente de conocer la diversidad y variación de las especies a lo largo de la ACP, en especial, la de los briofitos, al ser organismos bioindicadores y poco estudiados.

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar la diversidad de especies de briofitas empleando DNA-barcoding en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, Amazonas y, para ello busca i) determinar las especies de briofitos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta empleando el marcador molecular *rbcL* y; ii) evaluar la variación de la diversidad de especies de briofitas a lo largo de la ACP aplicando índices de diversidad como Shannon y Simpson.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Determinación de especies de briofitos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta empleando el marcador molecular *rbcL*

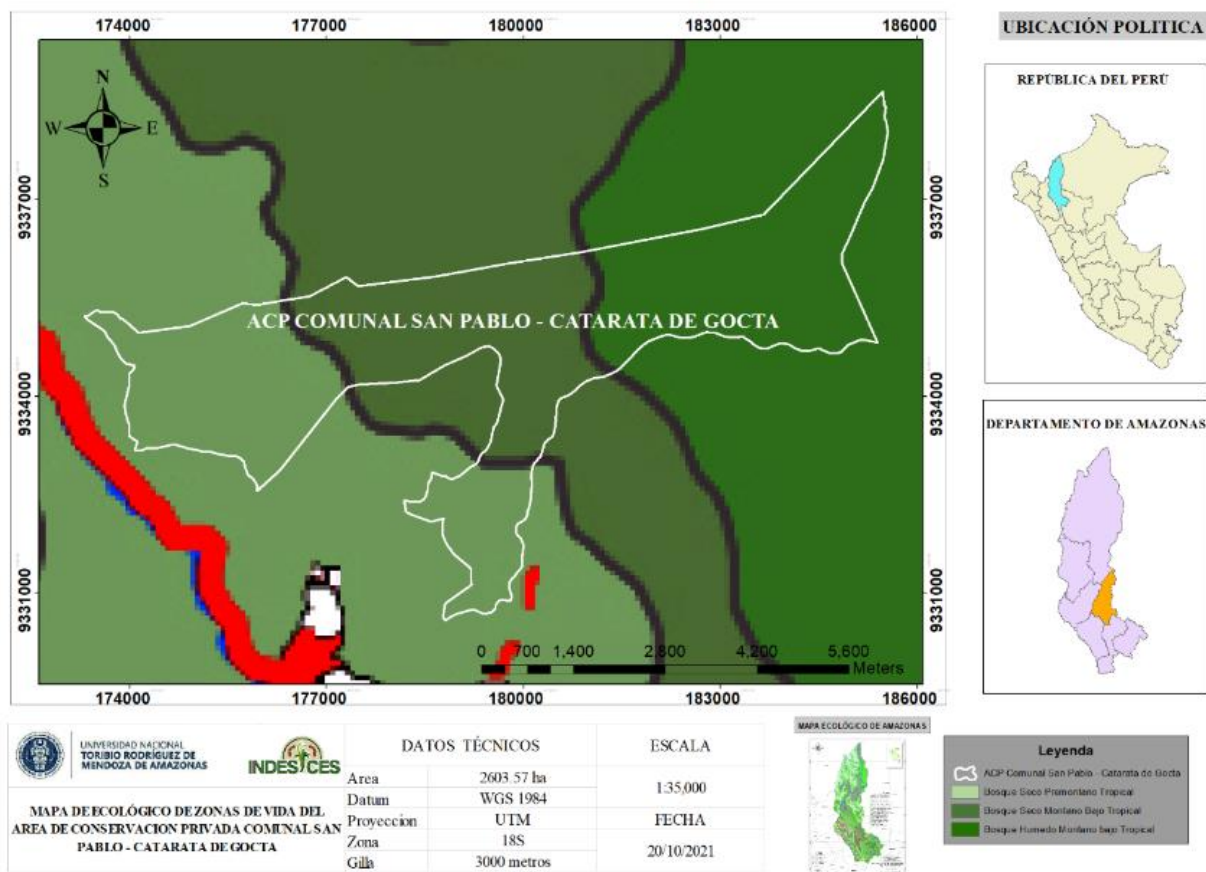
#### 2.1.1. Área de estudio

Las colectas de musgos, hepáticas y antoceros tuvo lugar en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta, ubicado al noreste del Perú con una extensión total de 2 603,57 ha, la cual representa el 0,17% de todas las Áreas naturales protegidas de la región Amazonas (MINAM, 2021). La colecta de muestra fue realizada en agosto y junio del 2022.

#### 2.1.2. Estrategia de Muestreo

Dentro del ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta, las muestras fueron colectadas en 15 puntos aleatorios dentro de cada una de las tres zonas de vida (45 puntos en total) identificadas según la clasificación de ORNEN (1976). Estas zonas corresponden a: i) bosque seco premontano tropical (bs-PT) ubicado entre 1 000 – 2 000 msnm; ii) bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT), entre 2 000 – 2800 msnm; y iii) bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), entre 2800 – 3 100 msnm (Figura 1). Las muestras de briofitos se colectaron de sustratos como rocas, árboles y suelo (Hofbauer et al., 2016; Ren et al., 2021). Estas muestras se etiquetaron y georreferenciaron según Tabla 1, posteriormente dichos ejemplares fueron depositados en el Herbario KUELAP de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).





**Figura 1.** Mapa Ecológico del Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Catarata de Gocta.

**Tabla 1.** Datos de la colecta de especímenes de Briofitos en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Cataratas de Gocta.

Código	Coordenadas			Altitud
	Zona	Longitud	Latitud	
P1_M1	18	177942	9332121	2445
P1_M2	18	177942	9332121	2445
P1_M3	18	177942	9332121	2445
P1_M4	18	177942	9332121	2445
P1_M5	18	177942	9332121	2445
P1_M6	18	177942	9332121	2445
P1_M7	18	177942	9332121	2445
P1_M10	18	177942	9332121	2445
P2_M1	18	178180	9332434	2542
P2_M3	18	178180	9332434	2542
P2_M9	18	178180	9332434	2542
P2_M10	18	178180	9332434	2542
P3_M2	18	178445	9332767	2593
P3_M4	18	178445	9332767	2593
P3_M5	18	178445	9332767	2593
P4_M1	18	178555	9332901	2590

<b>P4_M2</b>	18	178555	9332901	2590
<b>P4_M3</b>	18	178555	9332901	2590
<b>P5_M2</b>	18	177281	9330913	1884
<b>P5_M4</b>	18	177281	9330913	1884
<b>P5_M5</b>	18	177281	9330913	1884
<b>P5_M6</b>	18	177281	9330913	1884
<b>P5_M7</b>	18	177281	9330913	1884
<b>P6_M1</b>	18	177647	9331056	1900
<b>P6_M2</b>	18	177647	9331056	1900
<b>P6_M5</b>	18	177647	9331056	1900
<b>P7_M2</b>	18	178194	9331142	2000
<b>P7_M3</b>	18	178194	9331142	2000
<b>P8_M2</b>	18	178598	9330911	2013
<b>P8_M3</b>	18	178598	9330911	2013
<b>P8_M4</b>	18	178598	9330911	2013
<b>P8-M6</b>	18	178598	9330911	2013
<b>P9_M6</b>	18	179142	9331207	2068
<b>P9_M5</b>	18	179142	9331207	2068
<b>P10_M1</b>	18	179350	9331636	2111
<b>P10_M6</b>	18	179350	9331636	2111
<b>P10_M7</b>	18	179350	9331636	2111
<b>P11_M1</b>	18	179435	9332064	2166
<b>p11_m3</b>	18	179435	9332064	2166
<b>p11-m12</b>	18	179435	9332064	2166
<b>p12_m1</b>	18	179657	9332519	2164
<b>P12-M2</b>	18	179657	9332519	2164
<b>P12_M3</b>	18	179657	9332519	2164
<b>P12-M10</b>	18	179657	9332519	2164
<b>P13_M1</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M2</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M5</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13-M6</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M7</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M8</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M9</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M10</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M13</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M15</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P13_M25</b>	18	179667	9332974	2196
<b>P14_M1</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M3</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M4</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M5</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M6</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M7</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M8</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M9</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M10</b>	18	179944	9333307	2229

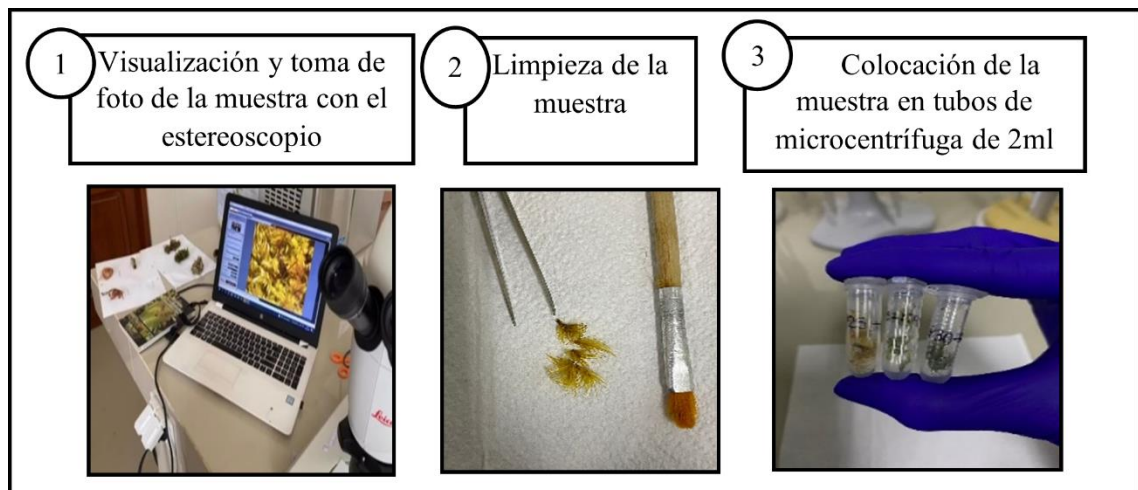
<b>P14-M12</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M13</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M14</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M16</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M18</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M20</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M21</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M23</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M24</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P14-M25</b>	18	179944	9333307	2229
<b>P15-M2</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15-M4</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M7</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M8</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M9</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M11</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M12</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P15_M13</b>	18	180293	9333515	2275
<b>P16_M1</b>	18	178934	9332761	2621
<b>P17_M2</b>	18	178934	9332760	2622
<b>P17_M4</b>	18	178934	9332760	2622
<b>P18_M1</b>	18	179116	9332876	2663
<b>P19_M1</b>	18	179429	9333248	2661
<b>P19_M2</b>	18	179429	9333248	2661
<b>P19_M3</b>	18	179429	9333248	2661
<b>P20_M3</b>	18	179590	9333669	2709
<b>P20_M4</b>	18	179590	9333669	2709
<b>P21_M2</b>	18	179804	9333945	2728
<b>P21_M3</b>	18	179804	9333945	2728
<b>P21_M4</b>	18	179804	9333945	2728
<b>P23_M2</b>	18	180257	9334306	2729
<b>P24_M1</b>	18	180357	9334157	2723
<b>P24_M2</b>	18	180357	9334157	2723
<b>P24_M5</b>	18	180357	9334157	2723
<b>P25-M1</b>	18	180524	9334110	2658
<b>P25-M2</b>	18	180524	9334110	2658
<b>P25-M3</b>	18	180524	9334110	2658
<b>P25-MA</b>	18	180524	9334110	2658
<b>P26_M1</b>	18	180587	9334079	2623
<b>P26_M13</b>	18	180587	9334079	2623
<b>P27_M3</b>	18	180611	9334090	2610
<b>P27_M5</b>	18	180611	9334090	2610
<b>P27_M6</b>	18	180611	9334090	2610
<b>P27_M7</b>	18	180611	9334090	2610
<b>P27_M9</b>	18	180611	9334090	2610
<b>P28_M1</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M2</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M3</b>	18	180643	9334039	2577

<b>P28_M5</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M6</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M8</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M9</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P28_M11</b>	18	180643	9334039	2577
<b>P29_M1</b>	18	180564	9333987	1901
<b>P29_M4</b>	18	180564	9333987	1901
<b>P29_M5</b>	18	180564	9333987	1901
<b>P29_MA</b>	18	180564	9333987	1901
<b>P30_M1</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M2</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M4</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M5</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M6</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M7</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P30_M20</b>	18	180551	9333937	2581
<b>P31_M2</b>	18	180541	9333970	2582
<b>P31_M3</b>	18	180541	9333970	2582
<b>P31_M4</b>	18	180541	9333970	2582
<b>P32_M1</b>	18	180476	9333831	2577
<b>P32_M2</b>	18	180476	9333831	2577
<b>P32_M4</b>	18	180476	9333831	2577
<b>P33_M1</b>	18	180488	9333717	2546
<b>P33_M2</b>	18	180488	9333717	2540
<b>P34_M1</b>	18	180460	9333705	2540
<b>P36_M1</b>	18	181353	9335878	2822
<b>P38_M1</b>	18	183240	9335826	3010

### 2.1.3. Análisis molecular para identificación de especies

#### a) Preparación de la muestra

Las muestras colectadas fueron sometidas a una minuciosa limpieza para retirar epifitos, utilizando instrumentos de laboratorio como pinzas y un estereoscopio (Labtech, Linitrion) en el laboratorio FISIOBVEG de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Finalmente, las muestras limpias se colocaron en tubos de microcentrífuga para luego ser llevadas al ultracongelador a  $-76^{\circ}\text{C}$  para su conservación (Rehman et al., 2021).

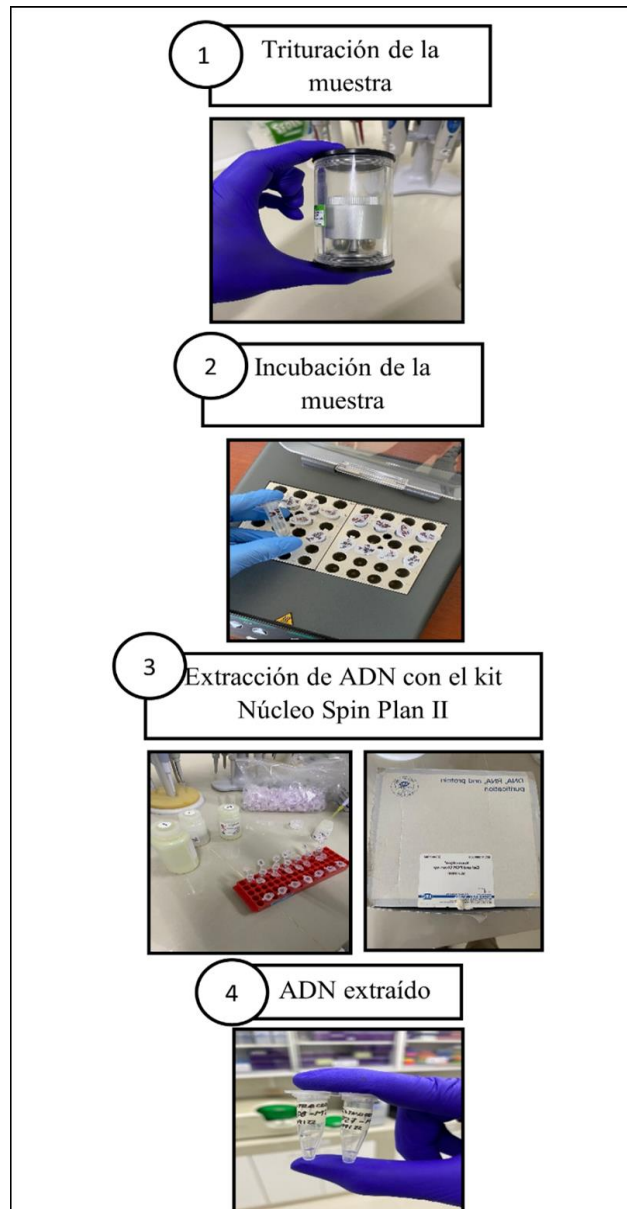


**Figura 2.** Proceso de la preparación de las muestras previo a la extracción de ADN.

#### b) Extracción de ADN

Para la extracción de ADN, se seleccionó las partes más verdes del gametofito de la planta (Lang et al., 2015), las cuales fueron sumergidas en nitrógeno líquido para después colocarlas en un microtubo y ser molidas en un disruptor (SK-10, Japón). El ADN genómico se extrajo utilizando el kit NucleoSpin Plant II siguiendo el protocolo del fabricante (Macherey-Nagel, Düren, Germany). La calidad del ADN extraído se determinó en gel de agarosa al 0,8% y mediante cuantificación fluorométrica (fluorómetro Quantus<sup>TM</sup>). El ADN extraído se almacenó a -80°C para su conservación (Figura 3).





**Figura 3.** Proceso para la extracción de ADN de briofitos.

c) Amplificación de ADN

Se amplificó el marcador plastidial *rbcL* mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los primers *rbcL*F (5'-GCAGCATTTCGRATGACTC-3') y *rbcL*R (5'-CTCATTACGGGCTTGTACAC-3') (Wahrmund et al., 2009, Liu et al., 2010). La PCR se llevó a cabo utilizando mezclas de reacción con un volumen total de 10 ul por muestra. Las proporciones que contuvo fueron 5 ul de Go Taq MasterMix; 0.2 ul de cada primer; 2 ul de ADN genómico y el resto de la solución se completó con agua destilada extra pura. Las condiciones de la PCR se establecieron conforme al protocolo de Liu et al. (2010) (Tabla 2) en un termociclador digital de punto final (T100™ Thermal Cycler-

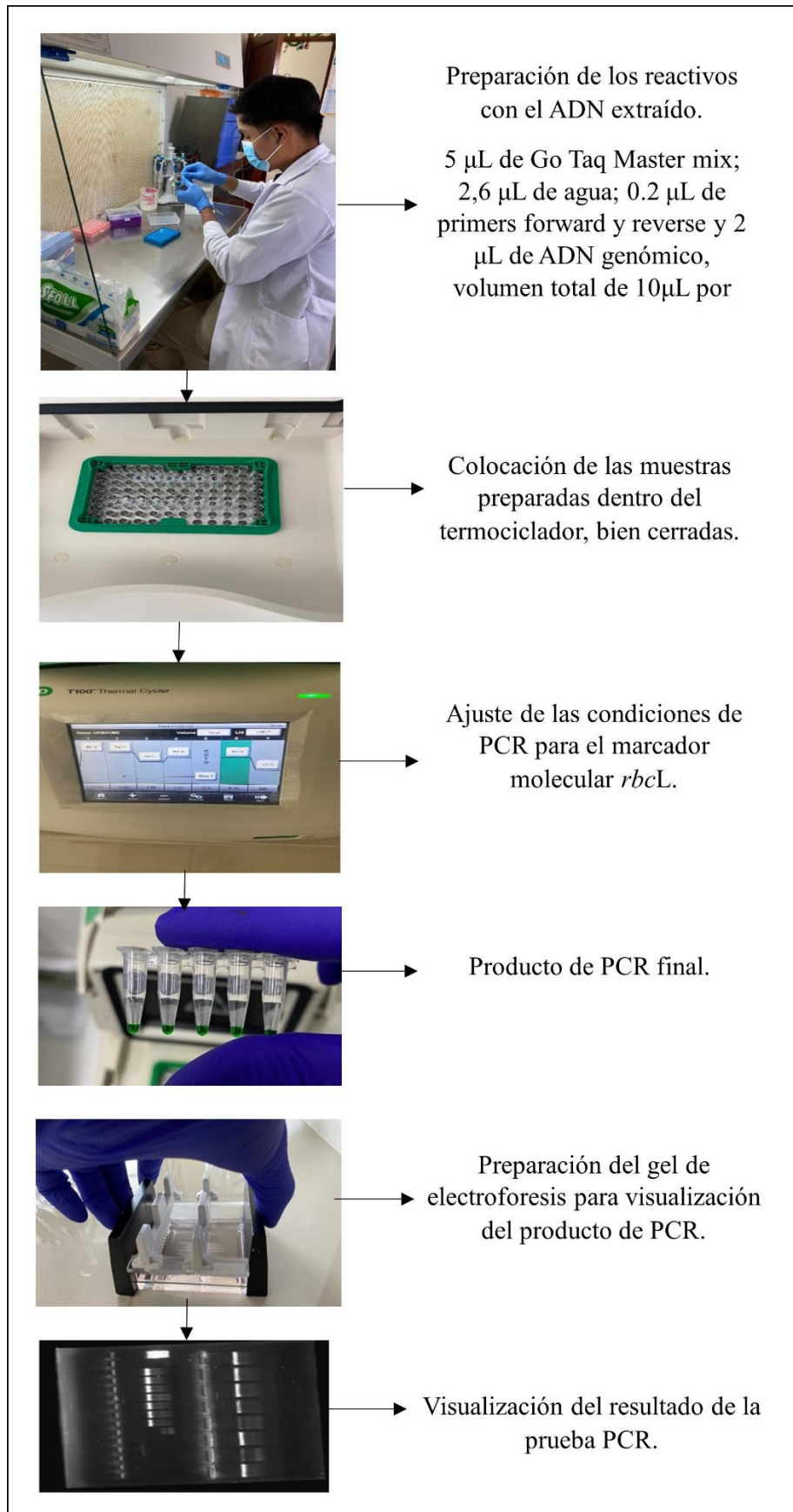
Biorad, USA). La calidad de los amplicones se confirmó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% (Figura 4).

**Tabla 2.** Condiciones de PCR para amplificar el marcador *rbcL* en briofitos.

Marcador	Fase	Condiciones de PCR		Ciclos
		Temperatura	Tiempo	
<i>rbcL</i>	Pre-desnaturalización	94°C	5'	1x
	Desnaturalización	94°C	30''	35x
	Hibridación	50°C	30''	35x
	Elongación	72° C	40''	35x
		72°C	8'	1x

#### d) Purificación y secuenciamiento de ADN

Los amplicones obtenidos se purificaron haciendo uso del kit NucleoSpin Gel and PCR Clean-up (Macherey-Nagel, Düren, Alemania), siguiendo las instrucciones del fabricante (Figura 4). Posteriormente, el producto purificado de la amplificación fue enviado a secuenciar comercialmente por Macrogen (Seúl, Corea del Sur).



**Figura 4.** Proceso de amplificación mediante PCR del marcador plastidial *rbcL* de briofitos.

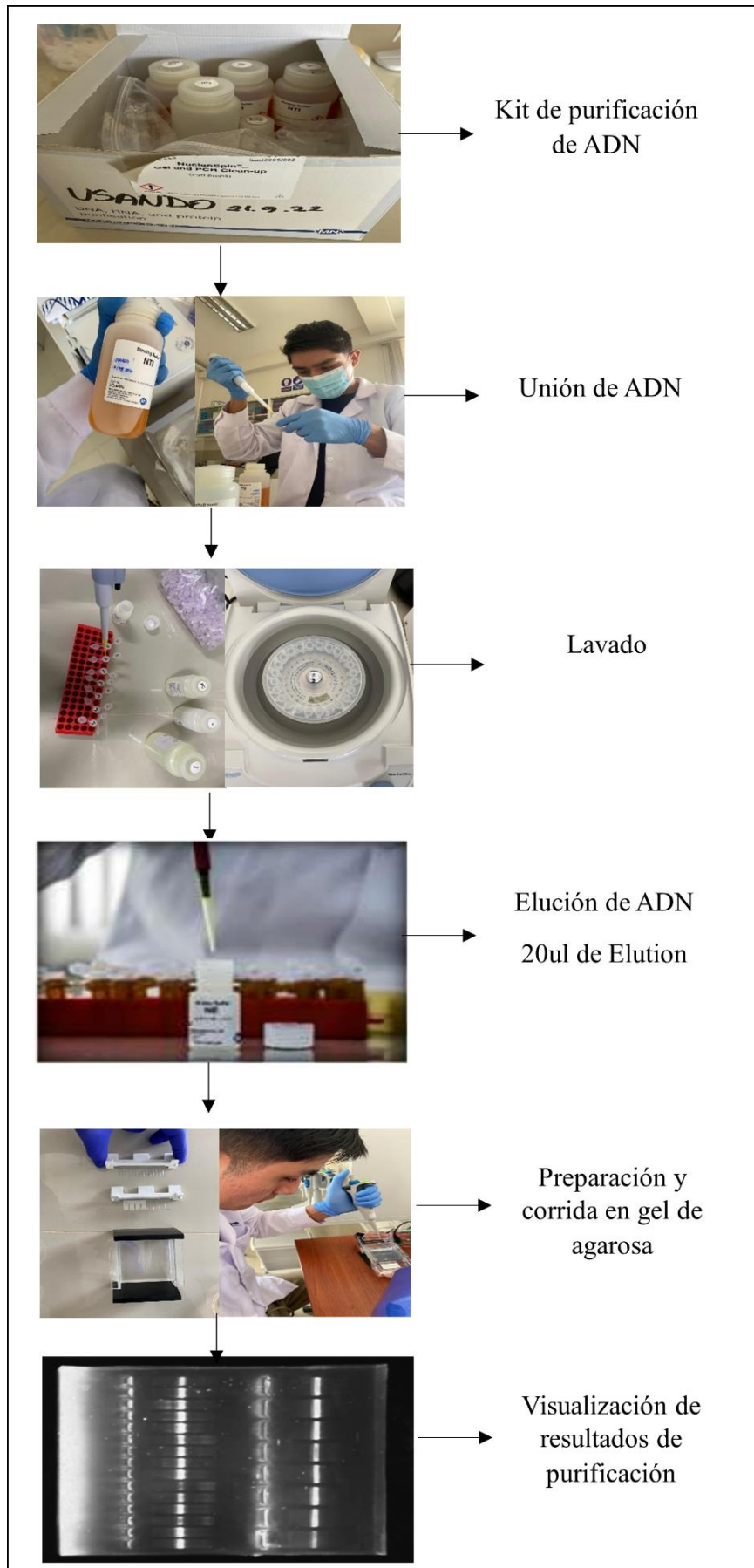


Figura 4. Continúa.



Donde:

- $D_{si}$ : Índice de Simpson
- $P_i$ : Proporción de cada especie en la población

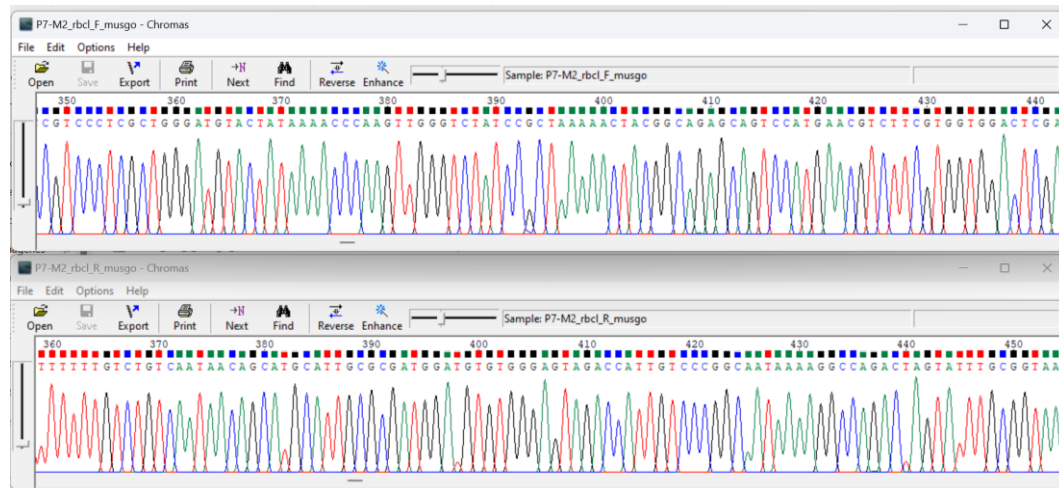
### 2.2.2 Análisis de datos de diversidad de especies

Para conocer la variación de la diversidad de briofitos en la ACP, se calculó la distancia de la composición de especies utilizando el paquete Vegan en el software RStudio y posteriormente se realizó un análisis de conglomerados, en el cual, se tuvo en cuenta el número de individuos a lo largo de cada una de las tres zonas de vida de la ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación de especies de briofitos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta empleando el marcador molecular *rbcL*

La longitud de las secuencias del gen *rbcL* de las 139 muestras alcanzó los 1000 pb. Se obtuvieron picos claros en los cromatogramas, los cuáles fueron editados en el software Chromas v 2.6.6 (Figura 5) para la obtención de la secuencia consenso.



**Figura 5:** Edición de secuencias del marcador *rbcL* utilizando Chromas v 2.6.6.

Para la reconstrucción filogenética, la alineación total de secuencias del marcador *rbcL* comprendió 910 pb. La reconstrucción filogenética incluyó 83 especies de briofitas, las cuales se ubicaron en 49 géneros, pertenecientes a 32 familias y dentro de 13 órdenes (Tabla 3). En el orden Bryales se identificaron cuatro familias, siete géneros y nueve especies. En el orden Dicranales se encontraron una familia, tres géneros y tres especies. En el orden Hookeriales, se identificaron dos familias, dos géneros y dos especies. En el orden Hypnales, se registraron seis familias, nueve géneros y 14 especies. En el orden Isobryales, se reportaron dos familias, dos géneros y dos especies. En el orden Jungermanniales, se registraron seis familias, nueve géneros y 17 especies. En el orden Leucodontales, se identificaron cuatro familias, cuatro géneros y cinco especies. En el orden Marchantiales, se reportaron una familia, un género y una sola especie. En el orden Metzgeriales se ubicaron dos familias, dos géneros y 7 especies. En el orden Polytrichales, solo se encontró una especie. En el orden de Porellales, se reportaron en cuatro familias, nueve géneros y 17 especies. En el orden Pottiales, se encontraron una familia, dos géneros y dos especies. En el orden Sphagnales, se identificaron un género y tres especies.

**Tabla 3:** Porcentaje de identidad de muestras colectadas en la ACP San Pablo-Catarata de Gocta con especies depositadas en la base GenBank.

<b>Bryophyta (Musgos)</b>								
<b>Código</b>	<b>Especie</b>	<b>Número accesión</b>	<b>% Similitud</b>	<b>% Cobertura</b>	<b>Género</b>	<b>Familia</b>	<b>Orden</b>	
P1_M3	<i>Bartramia</i> sp1.	AY312926	98.28	100	<i>Bartramia</i>	Bartramiaceae	Bryales	
P11-M12	<i>Bartramia</i> sp2.	AF491017	97.85	100				
P14_M1	<i>Philonotis</i> sp	AF478240	99.09	100	<i>Philonotis</i>	Bryaceae		
P14-M21	<i>Bryum algovicum</i>	AY163022	100	100	<i>Bryum</i>			
P14-M25	<i>Bryum</i> sp.	LC702096	98.99	100				
P25-MA	<i>Brachymenium preissianum</i>	AY163020	99.5	100	<i>Brachymenium</i>	Catoscopiaceae		
P33_M2	<i>Rhodobryum ontariense</i>	AF478243	99.58	100	<i>Rhodobryum</i>			
P28_M1	<i>Catoscopium</i> sp.	AB914712	97.28	100	<i>Catoscopium</i>	Rhizogoniaceae		
P32_M1	<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	AY853984	99.84	100	<i>Pyrrhobryum</i>	Dicranaceae		Dicranales
P9_M5	<i>Campylopus umbellatus</i>	AF226814	99.29	100	<i>Campylopus</i>			
P15-M4	<i>Leucobryum albidum</i>	AB124784	99.9	100	<i>Leucobryum</i>	Hookeriaceae	Hookeriales	
P25-M1	<i>Dicranum scoparium</i>	MK463855	99.3	100	<i>Dicranum</i>			
P13_M10	<i>Hypopterygium tamarisci</i>	AF232695	99.9	100	<i>Hypopterygium</i>	Daltoniaceae		
P15_M7	<i>Lepidopilum</i> sp.	AF233578	96.56	100	<i>Lepidopilum</i>	Brachytheciaceae		
P1_M1	<i>Brachythecium rutabulum</i>	DQ645997	99.39	100	<i>Brachythecium</i>			
P19_M1	<i>Brachythecium salebrosum</i>	AY312927	100	100				
P1_M4	<i>Entodon</i> sp1.	AB332277	98.59	100	<i>Entodon</i>	Entodontaceae	Hypnales	
P5_M6	<i>Entodon</i> sp2.	DQ467877	98.41	100				
P16_M1	<i>Entodon</i> sp3.	AB050993	98.51	100				
P1_M5	<i>Myurium</i> sp.	DQ645999	98.23	100	<i>Myurium</i>	Myuriaceae		
P2_M9	<i>Thuidium tamariscinum</i>	OX344760	99.59	100	<i>Thuidium</i>	Thuidiaceae		
P10_M7	<i>Thuidium</i> sp1.	AB071416	98.97	100				
P9_M6	<i>Boulaya</i> sp.	AB024963	97.37	100			<i>Boulaya</i>	



<b>P3_M2</b>	<i>Sematophyllum</i> sp1	KX130445	95.95	100	<i>Sematophyllum</i>	Sematophyllaceae	
<b>P24_M1</b>	<i>Sematophyllum</i> sp2	KX130445	99.28	100			
<b>P15_M9</b>	<i>Macrohymenium</i> sp.	AY320246	99.27	100	<i>Macrohymenium</i>		
<b>P15_M12</b>	<i>Wijkia</i> sp.	KX130439	99.9	100	<i>Wijkia</i>		
<b>P3_M5</b>	<i>Chryso-hypnum</i> sp.	OK847696	98.55	100	<i>Chryso-hypnum</i>	Hypnaceae	
<b>P1_M6</b>	<i>Trachypus</i> sp.	AF233577	98.79	99	<i>Trachypus</i>	Trachypodaceae	Isobryales
<b>P13_M15</b>	<i>Prionodon densus</i>	AF158174	99.7	100	<i>Prionodon</i>	Prionodontaceae	
<b>P14-M18</b>	<i>Thamnobryum</i> sp1.	DQ645994	98.18	100	<i>Thamnobryum</i>	Neckeraceae	
<b>P29_M4</b>	<i>Thamnobryum</i> sp2.	DQ645994	97.95	100			
<b>P14-M23</b>	<i>Pterobryopsis orientalis</i>	OL372263	100	100	<i>Pterobryopsis</i>	Pterobryaceae	Leucodontales
<b>P14_M7</b>	<i>Pterobryon</i> sp.	AB019460	99.39	100	<i>Pterobryon</i>		
<b>P27_M3</b>	<i>Rhacocarpus purpurascens</i>	AY854000	99.26	100	<i>Rhacocarpus</i>	Hedwigiaceae	
<b>P6_M1</b>	<i>Polytrichum juniperinum</i>	JN162293	99.9	100	<i>Polytrichum</i>	Polytrichaceae	Polytrichales
<b>P1_M10</b>	<i>Didymodon</i> sp.	ON310498	98.15	100	<i>Didymodon</i>	Pottiaceae	Pottiales
<b>P5_M5</b>	<i>Chionoloma angustatum</i>	LC176254	99.38	100	<i>Chionoloma</i>		
<b>P17_M4</b>	<i>Sphagnum wheeleri</i>	MF362350	100	100	<i>Sphagnum</i>	Sphagnaceae	Sphagnales
<b>P30_M2</b>	<i>Sphagnum subtile</i>	MF362342	100	100			
<b>P30_M6</b>	<i>Sphagnum papillosum</i>	MF362311	100	100			

#### Marchantiophyta (Hepáticas)

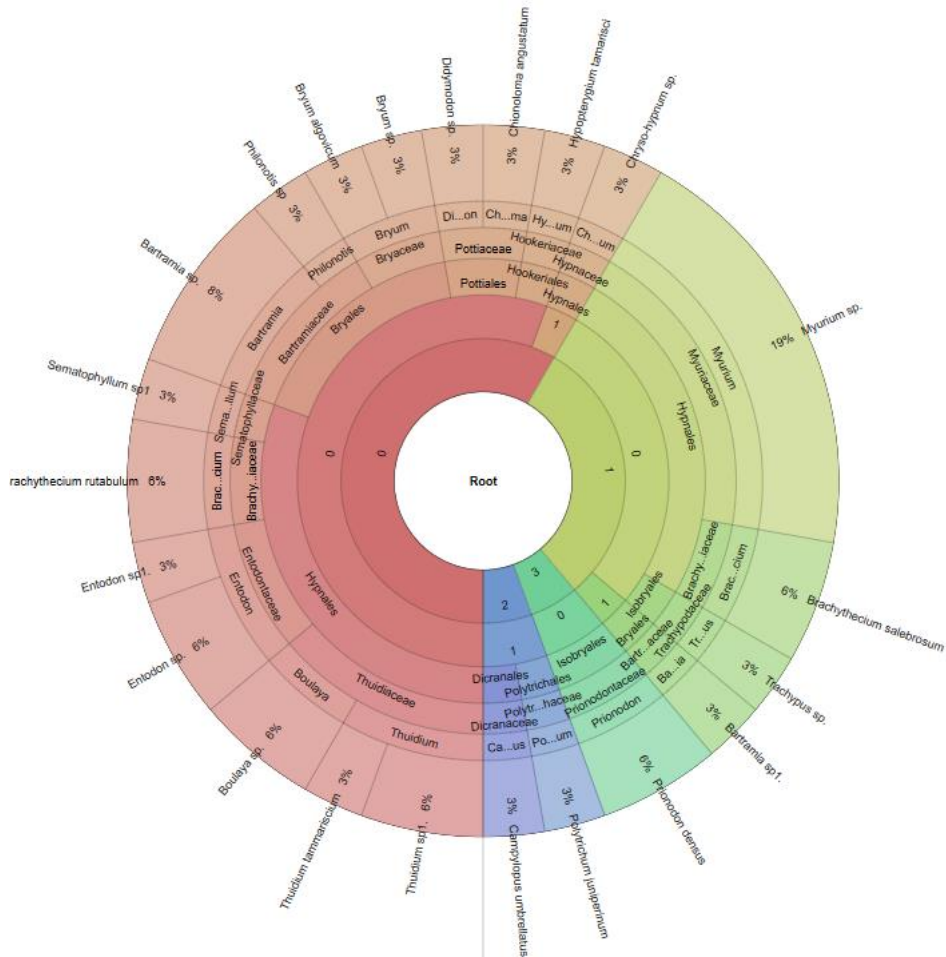
Código	Especie	Número accesión	% Similitud	% Cobertura	Género	Familia	Orden
<b>P3_M4</b>	<i>Plagiochila metcalfei</i>	KY050979	99.5	100	<i>Plagiochila</i>	Plagiochilaceae	Jungermanniales
<b>P6_M5</b>	<i>Plagiochila deflexirama</i>	DQ194128	99.7	100			
<b>P11-M3</b>	<i>Plagiochila</i> sp2.	DQ194187	98.72	100			
<b>P14-M6</b>	<i>Plagiochila</i> sp.	KY051025	100	100			
<b>P14-M8</b>	<i>Plagiochila macrostachya</i>	DQ194160	99.38	100			

<b>P15_M11</b>	<i>Plagiochila pachyloma</i>	DQ194171	99.38	100			
<b>P20_M4</b>	<i>Plagiochila turgida</i>	DQ194206	99.9	100			
<b>P21_M3</b>	<i>Plagiochila rubescens</i>	DQ194187	99.26	100			
<b>P13_M7</b>	<i>Plagiochila diversifolia</i>	DQ194131	100	100			
<b>P30_M4</b>	<i>Plagiochila</i> sp.1	DQ194161	98.76	100			
<b>P38_M1</b>	<i>Plagiochila</i> sp.3	DQ194181	99.9	100			
<b>P13_M1</b>	<i>Trichocolea</i> sp1.	AY608040	98.64	96	<i>Leiomitra</i>	Trichocoleaceae	
<b>P15_M13</b>	<i>Dendrobazzania</i> sp.	KF852413	98.78	100			
<b>P28_M11</b>	<i>Dendrobazzania griffithiana</i>	KF852413	99.8	100	<i>Bazzania</i>	Lepidoziaceae	
<b>P14-M5</b>	<i>Lepidozia</i> sp1.	JX289407	98.99	100	<i>Lepidozia</i>		
<b>P28_M8</b>	<i>Herbertus</i> sp.	KF852366	98.59	100	<i>Herbertus</i>		
<b>P31_M3</b>	<i>Triandrophyllum subtrifidum</i>	AM392315	99.9	100	<i>Triandrophyllum</i>	Herbertaceae	
<b>P8_M3</b>	<i>Plagiochasma rupestre</i>	KJ590915	100	100	<i>Plagiochasma</i>	Aytoniaceae	Marchantiales
<b>P4_M1</b>	<i>Metzgeria</i> sp2.	DQ268976	97.86	99			
<b>P4_M3</b>	<i>Metzgeria</i> sp3.	DQ268976	97.15	99			
<b>P10_M1</b>	<i>Metzgeria</i> sp4.	AY608035	97.28	100			
<b>P12_M3</b>	<i>Metzgeria liebmanniana</i>	DQ268976	99.67	100	<i>Metzgeria</i>	Metzgeriaceae	Metzgeriales
<b>P13_M5</b>	<i>Metzgeria limbatosetosa</i>	AB535642	99.9	100			
<b>P18_M1</b>	<i>Metzgeria</i> sp1.	DQ268976	98.89	100			
<b>P14-M3</b>	<i>Riccardia</i> sp.	AB673208	93.15	100	<i>Riccardia</i>	Aneuraceae	
<b>P2_M3</b>	<i>Lindigianthus cipaconeus</i>	DQ983702	99.56	100	<i>Lindigianthus</i>		
<b>P4_M2</b>	<i>Diplasiolejeunea replicata</i>	JQ729472	99.57	94			
<b>P8_M4</b>	<i>Dicranolejeunea axillaris</i>	DQ983674	99.8	100	<i>Diplasiolejeunea</i>		
<b>P6_M2</b>	<i>Lejeunea cerina</i>	DQ983687	99.39	100		Lejeuneaceae	Porellales
<b>P11_M1</b>	<i>Taxilejeunea caracensis</i>	KF852291	99.03	100	<i>Lejeunea</i>		
<b>P7_M3</b>	<i>Frullanoides densifolia</i>	KF852371	99.7	100	<i>Frullanoides</i>		

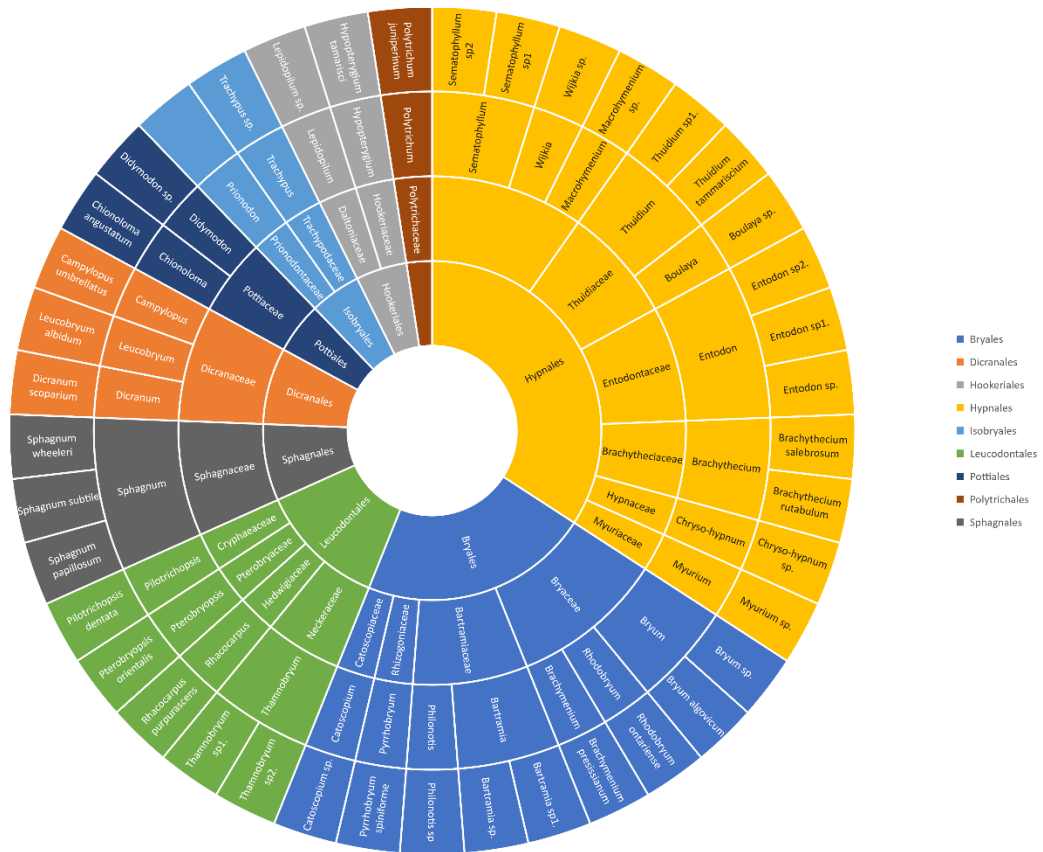
<b>P10_M6</b>	<i>Bryopteris filicina</i>	AY548087	100	100	<i>Bryopteris</i>	
<b>P13_M13</b>	<i>Omphalanthus ovalis</i>	DQ983717	99.77	100	<i>Cheilolejeunea</i>	
<b>P14-M20</b>	<i>Omphalanthus filiformis</i>	AY548074	99.9	100		
<b>P5_M4</b>	<i>Frullania riojaneirensis</i>	FJ380794	100	100	<i>Frullania</i>	Frullaniaceae
<b>P8-M6</b>	<i>Frullania cuencensis</i>	FJ380799	99.9	100		
<b>P13_M2</b>	<i>Frullania brasiliensis</i>	FJ380866	100	100		
<b>P14-M10</b>	<i>Frullania moritziana</i>	FJ380857	99.9	100		
<b>P26_M1</b>	<i>Frullania arecae</i>	FJ380787	99.59	100		
<b>P5_M7</b>	<i>Porella crispata</i>	EF545330	100	100	<i>Porella</i>	Porellaceae
<b>P12-M1</b>	<i>Radula voluta</i>	AM392288	99.9	100	<i>Radula</i>	Radulaceae
<b>P26_M13</b>	<i>Radula complanata</i>	KJ508346	99.28	100		

### 3.1.1. Bryophyta (Musgos)

Dentro de la división Bryophyta se logró identificar 31 géneros, pertenecientes a 22 familias, los cuales se ubican dentro de los siguientes 9 ordenes: Bryales, Dicranales, Hookeriales, Hypnales, Isobryales, Leucodontales, Polytrichales, Pottiales y Sphagnales.



**Figura 6.** Porcentaje de especies en el grupo Bryophyta colectadas en la ACP San Pablo-Catarata de Gocta.



**Figura 7.** Gráfico circular representando la predominancia de especies de briofitas encontradas en la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta. El orden Hypnales resultó ser el orden sub con el mayor número de especies, géneros y familias, mientras que el orden Polytrichales contiene solo una especie.

### 3.1.1.1. Bryales

El análisis de filogenia molecular ( $rbcL = 991$  pb) de los miembros de este orden incluyó un total de 61 especies, y *Sphagnum africanum* (MF362238), *Sphagnum squarrosum* (AY309706) y *Sphagnum subsecundum* (MF362339) fueron usados como grupo externo. Dentro de este orden, se identificaron 9 especies de musgos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta (Figuras 8 y 9).

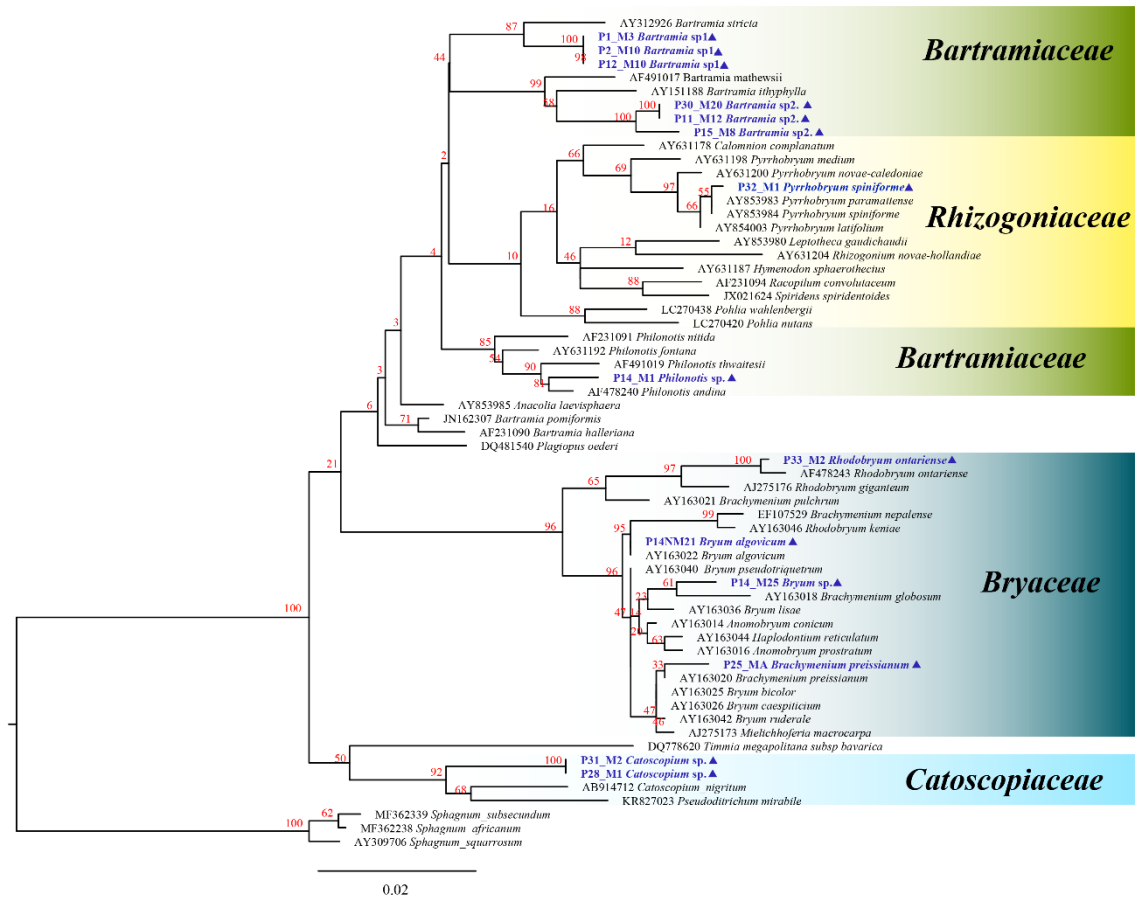
**Familia Bartramiaceae.** La filogenia inferida del alineamiento de las secuencias del gen *rbcL*, junto al bootstrap del análisis ML, reveló que la familia Bartramiaceae, no es monofilética y las especies de esta familia están ubicadas en dos linajes lejanamente relacionados. Las especies identificadas para el género *Bartramia*, divergen unas de otras. Por ejemplo, *Bartramia* sp1. (P1\_M3) tiene una divergencia genética de 3% con *Bartramia* sp.2 (P11\_M12). Adicionalmente, la primera es especie hermana de *Bartramia*

*stricta* (AY312926) divergiendo 1.1%, mientras que la segunda es especie hermana de *Bartramia mathewsii* (AF491017) con una divergencia de 2%. Por otra parte, la especie *Philonotis* sp. (P14\_M1) diverge 1.3% con las especies vecinas. Esto indica que las especies de los géneros *Bartramia* y *Philonotis* son distintas a las especies depositadas en GenBank.

**Familia Bryaceae.** Dentro de la familia Bryaceae se identificaron cuatro especímenes, tres de ellos [P25\_MA (*Brachymerium preissianum*), P33\_M2 (*Rhodobryum spiniforme*), P14\_M21 (*Bryum aglovicum*)] presentaron una divergencia genética menor al 1% con *Brachymerium preissianum* (AY163020), *Rhodobryum ontariense* (AF478243) y *Bryum algovicum* (AY163022), respectivamente. Por otra parte, el espécimen P14\_M25 (*Bryum* sp.) sería una especie hermana de *Bryum pseudotriquetrum* (AY163040) al tener una divergencia superior al 1%.

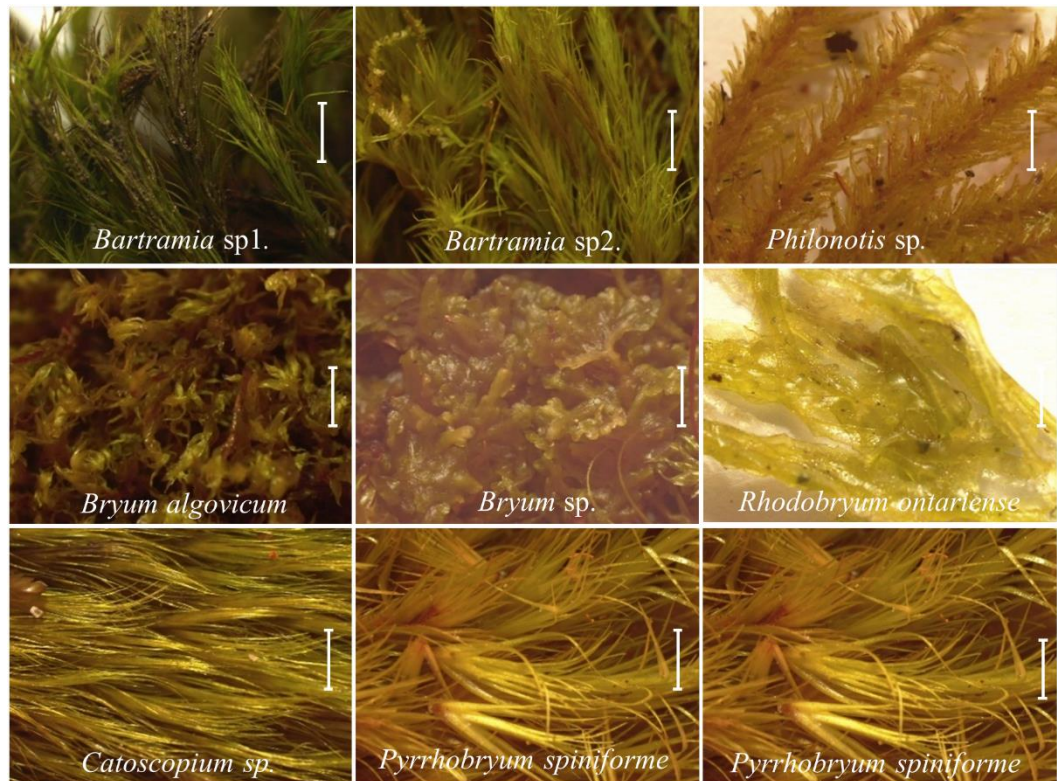
**Familia Catoscopiaceae.** En la familia Catoscopiaceae se registró la especie denominada *Catoscopium* sp. (P28\_M1). Esta especie está emparentada a *Catoscopium nigratum* (AB914712) y *Pseudoditrichum mirabile* (KR827023), con las cuales tienen una divergencia genética superior al 3.6%.

**Familia Rhizogoniaceae.** En la familia de Rhizogoniaceae se registró un espécimen (P32\_M1) con menos de 0.5% de divergencia con la especie *Pyrrhobryum spiniforme* sugiriendo conespecificidad (P32\_M1 = *Pyrrhobryum spiniforme*).



**Figura 8.** Árbol filogenético del orden Bryales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes colectados en este estudio se encuentran resaltados en azul.





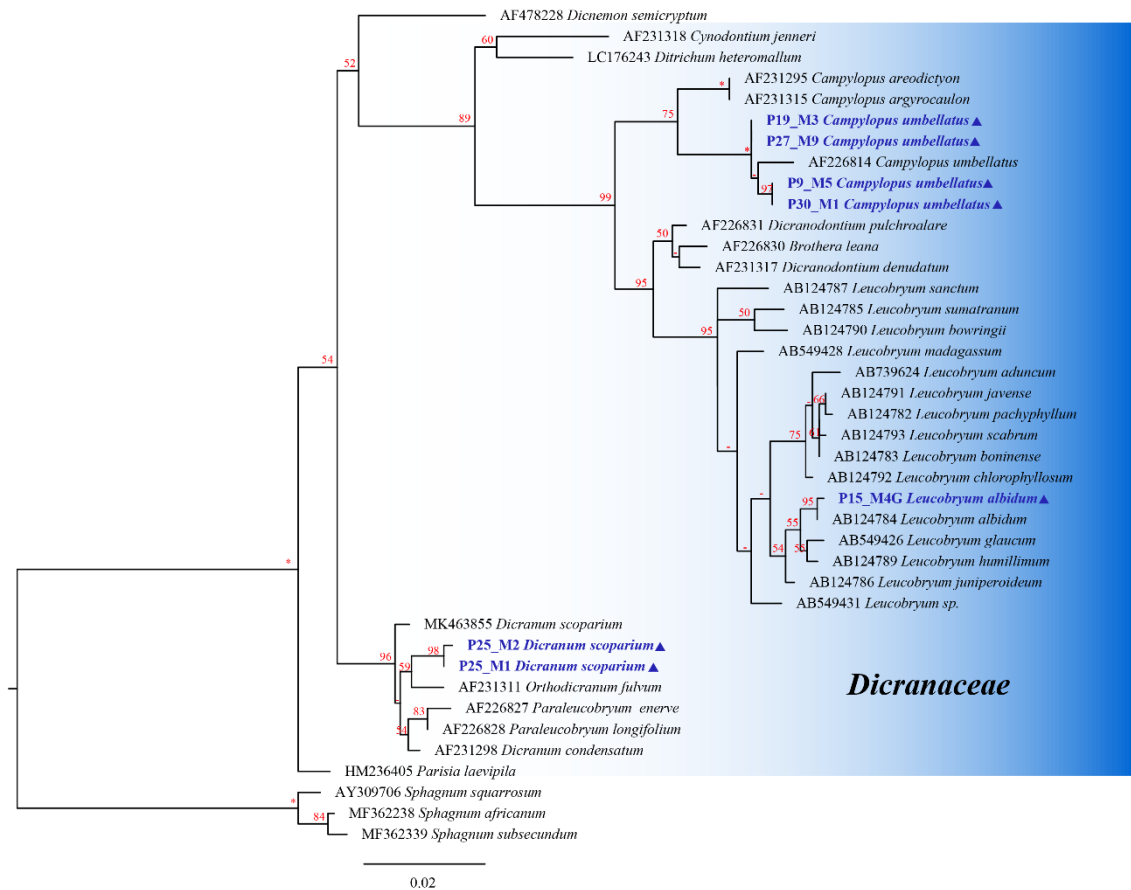
**Figura 9.** Especies de musgos de las familias Bartramiaceae, Bryaceae, Catoscopiaceae y Rhizogoniaceae pertenecientes al orden Bryales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.2. Dicranales

El análisis filogenético de los miembros de este grupo incluyó un total de 32 secuencias con una longitud de 991 pb, siendo *Sphagnum africanum* (MF362238), *Sphagnum squarrosum* (AY309706) y *Sphagnum subsecundum* (MF362339) usados como grupo externo (Figura 10). Dentro de este orden, se identificaron 3 especies de musgos en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta (Figuras 10 y 11).

**Familia Dicranaceae.** Se identificaron tres especies. Los especímenes P15\_M4 y P25\_M1 registraron una divergencia de 0.1% con las especies *Leucobryum albidum* (AB124784) y *Dicranum scoparium* (MK463855), respectivamente (P15\_M4 = *Leucobryum albidum* y P25\_M1 = *Dicranum scoparium*). Asimismo, el espécimen P9\_M5 mostró una divergencia de 0.3% con *Campylopus umbellatus* (AF226814) sugiriendo conespecificidad (P9\_M5 = *Campylopus umbellatus*).





**Figura 10.** Árbol filogenético para el orden Dicranales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 11.** Especies de musgos de la familia Dicranaceae perteneciente al orden Dicranales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.3. **Hookeriales**

El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden identificó dos especies para el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta (Figuras 12 y 22). Para la inferencia filogenética se usó al orden Sphagnales como grupo externo.

**Familia Daltoniaceae.** El espécimen P15\_M7 (*Lepidopilum* sp.) es una especie hermana a *Lepidopilum surinamense* (AF233578) de la familia Daltoniaceae, con una divergencia de 3%.

**Familia Hookeriaceae:** El espécimen P13\_M10 es conespecífico a *Hypopterygium tamarisci* (AF2332692) con una divergencia de 0.1% (P13\_M10 = *Hypopterygium tamarisci*).



**Figura 12.** Especies de musgos de las familias Daltoniaceae y Hookeriaceae perteneciente al orden Hookeriales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.4. **Hypnales**

El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden incluyó un total de 134 secuencias y 991 pb, siendo *Sphagnum africanum* (MF362238), *Sphagnum squarrosum* (AY309706) y *Sphagnum subsecundum* (MF362339), usados como grupo externo. Dentro de este orden se identificaron 14 especies de musgos (Figuras 13 y 14), pertenecientes a seis familias siendo así el segundo grupo más grande de musgos encontrado en el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta.

**Familia Brachytheciaceae.** La filogenia inferida del alineamiento de las secuencias del gen *rbcL*, junto al bootstrap del análisis ML, reveló la conespecificidad de los especímenes P19\_M1 y P1\_M1 con las especies *Brachythecium salebrosum* (AY312927) y *Brachythecium rutabulum* (DQ645997) de la familia Brachytheciaceae, respectivamente, al tener divergencias genéticas menores al 0.6% (P19\_M1 = *Brachythecium salebrosum* y P1\_M1 = *Brachythecium rutabulum*).

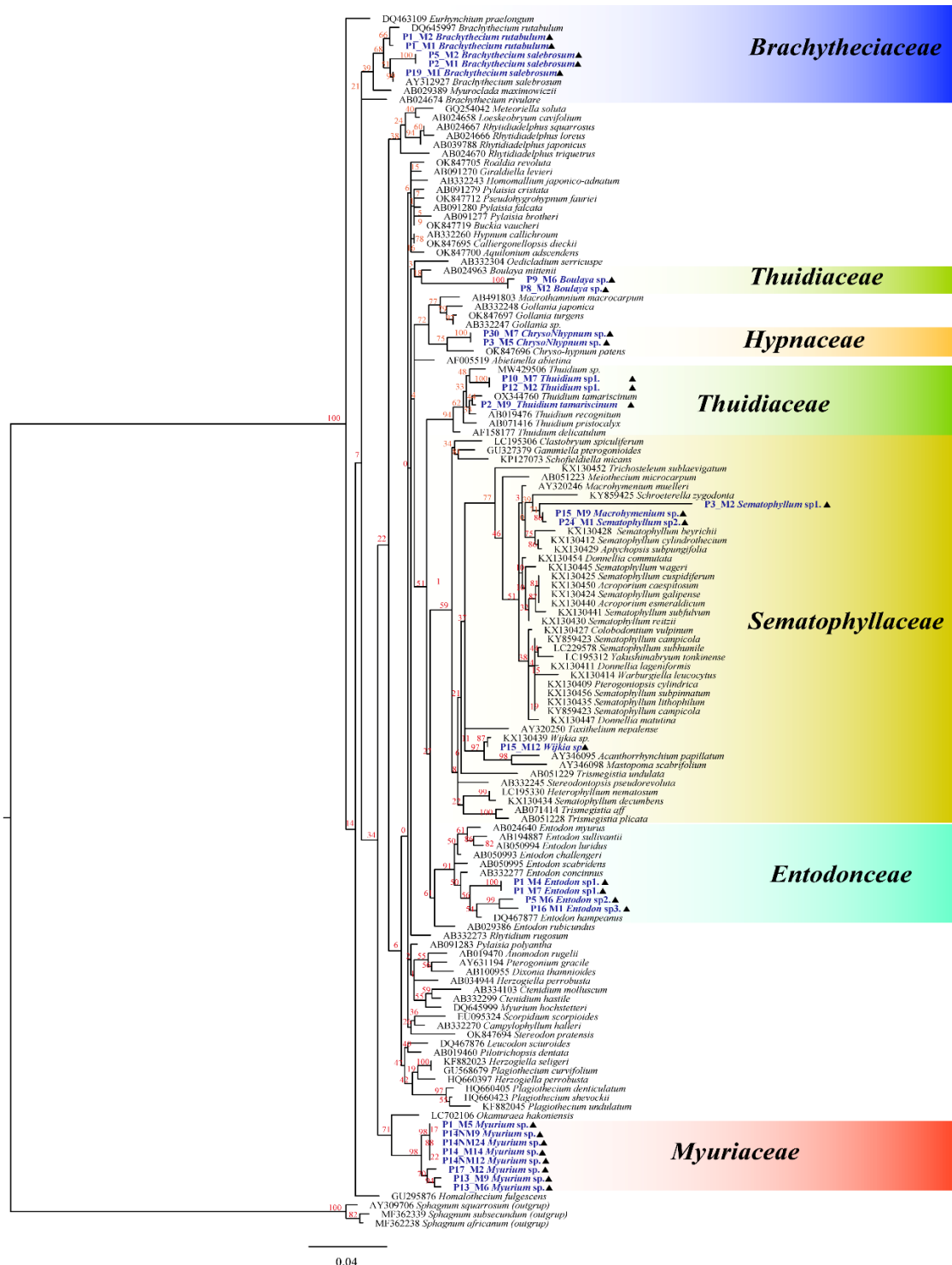
**Familia Entodonaceae.** Se registraron 3 especies [*Entodon* sp1. (P1\_M4), *Entodon* sp2. (P5\_M6) y *Entodon* sp3. (P16\_M1)], pertenecientes al género *Entodon* de la familia Entodonaceae, los cuales presentaron una divergencia de 1.4 - 1.6%.

**Familia Hypnaceae.** El espécimen P3\_M5 (*Chryso-hypnum* sp.) resultó ser una especie hermana a *Chryso-hypnum patens* (OK847696) de la familia Hypnaceae con una divergencia genética de 1.4%.

**Familia Myuriaceae.** Los ocho especímenes ubicados en la familia Myuriaceae forman un clado bien soportado (98%) y con divergencias dentro del clado menores a 0.008%. Estos especímenes (que fueron identificados como *Myurium* sp.) forman una especie hermana a *Myurium hochstetteri* (DQ645999), ya que difieren genéticamente en 1.7%.

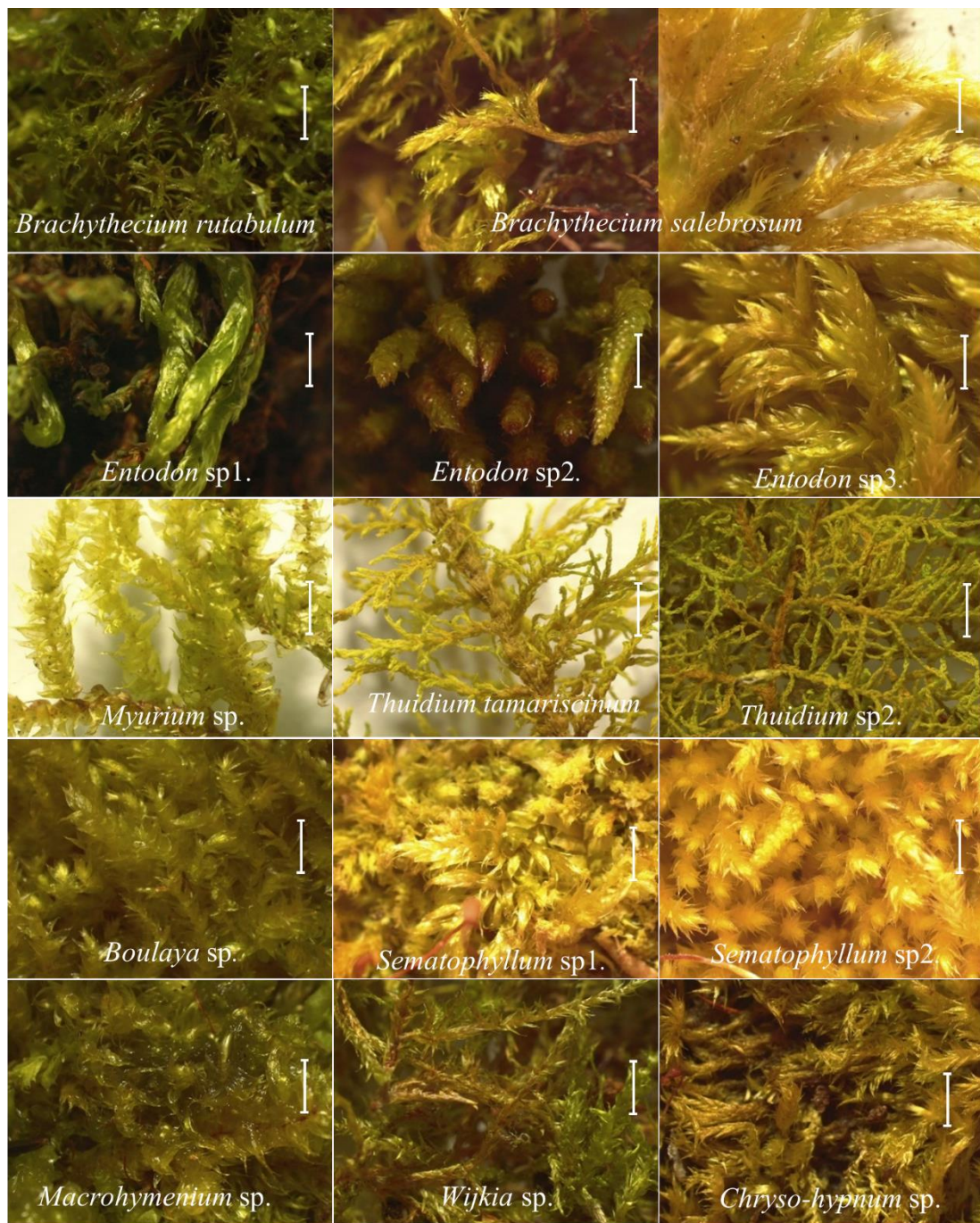
**Familia Sematophyllaceae.** Dentro de la familia Sematophyllaceae, algunos especímenes colectados de la ACP no mostraron conespecificidad con las especies presentes en GenBank, mostrando divergencias genéticas elevadas. Por ejemplo, la mayor divergencia se observó entre las secuencias del género *Sematophyllum* y el espécimen P3\_M2 (*Sematophyllum* sp1.) con 4.5%. Por otro lado, otros especímenes reportan conespecificidad con secuencias del género *Wijkia* y P15\_M12 (*Wijkia* sp.) por tener divergencias genéticas menores a 0.7%.

**Familia Thuidiaceae.** La familia Thuidiaceae no es monofilética y sus especies están ubicadas en dos linajes lejanamente emparentados. Los especímenes P9\_M6 (*Boulaya* sp.) y P10\_M7 (*Thuidium* sp1.) revelaron ser especies hermanas con *Boulaya mittenii* (AB024963, 2.6% de divergencia) y *Thuidium pristocalyx* (AB071416, 1.1% de divergencia), respectivamente. Por otro lado, el espécimen P2\_M9 es conspecífico a *Thuidium tamariscinum* (OX344760) con una divergencia menor al 0.4% (P2\_M9 = *Thuidium tamariscinum*). Las especies de estos dos géneros *Boulaya* y *Thuidium*, no se encuentran cercanamente emparentados evidenciando la parafilia de esta familia.



**Figura 13.** Árbol filogenético para el orden Hypnales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.





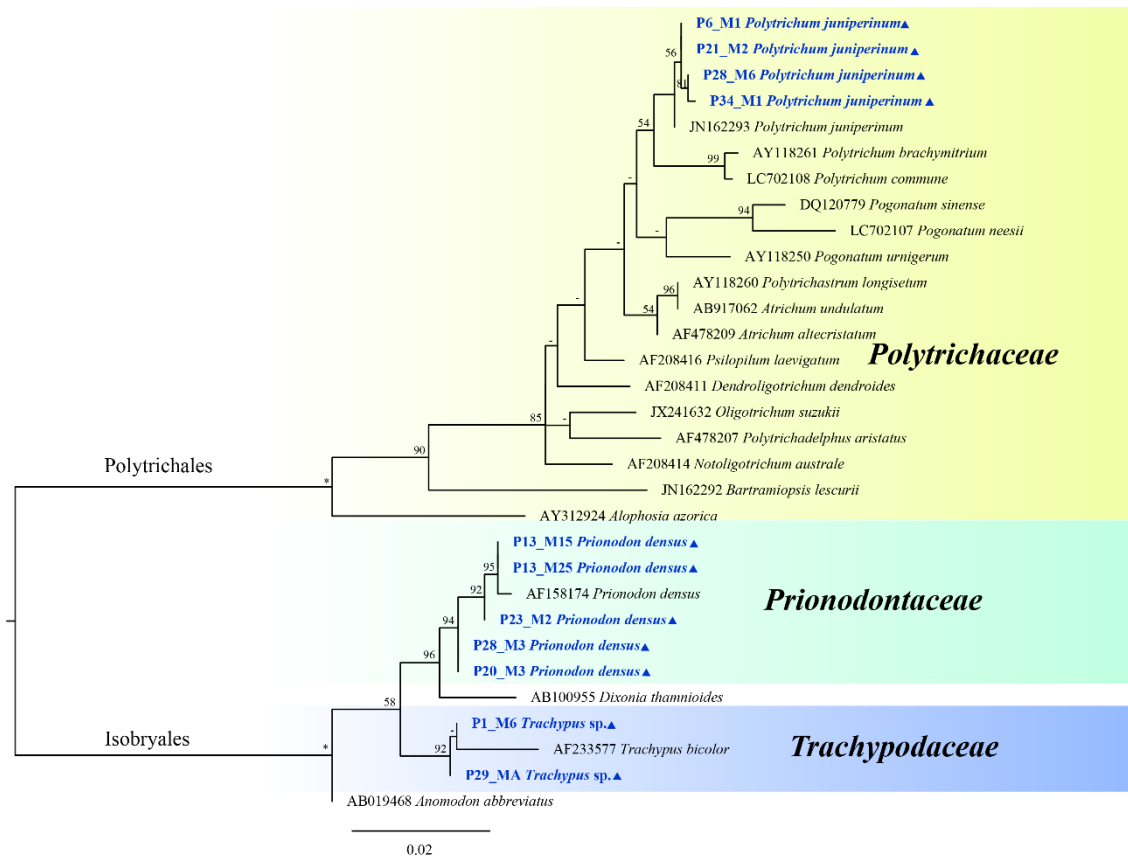
**Figura 14.** Especies de musgos de las familias Brachytheciaceae, Entodonaceae, Hypnaceae, Myuriaceae, Sematophyllaceae y Thuidiaceae perteneciente al orden Hypnales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.5. Isobryales

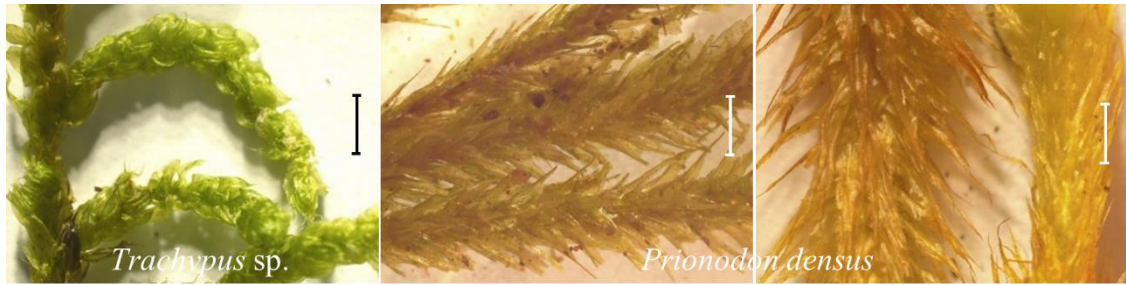
La inferencia filogenética para este orden reveló la presencia de dos familias para el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, cada una con una sola especie (Figuras 15 y 16). Para la inferencia filogenética se usó al orden Polytrichales como grupo externo.

**Familia Prionodontaceae.** La familia Prionodontaceae se ubicó en un clado con buen soporte (82/100) y comprende al espécimen P13\_M15, el cual es conespecífico a *Prionodon densus* (AF158174) con una divergencia inferior a 0.04% (P13\_M15 = *Prionodon densus*)

**Familia Trachypodaceae.** El espécimen P1\_M6 (*Trachypus* sp.) se ubicó como una especie hermana de *Trachypus bicolor* (AF233577), teniendo una divergencia de 1.2%.



**Figura 15.** Árbol filogenético para el orden Isobryales y Polytrichales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 16.** Especies de musgos de las familias Prionodontaceae y Trachypodaceae perteneciente al orden Isobryales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.6. Leucodontales

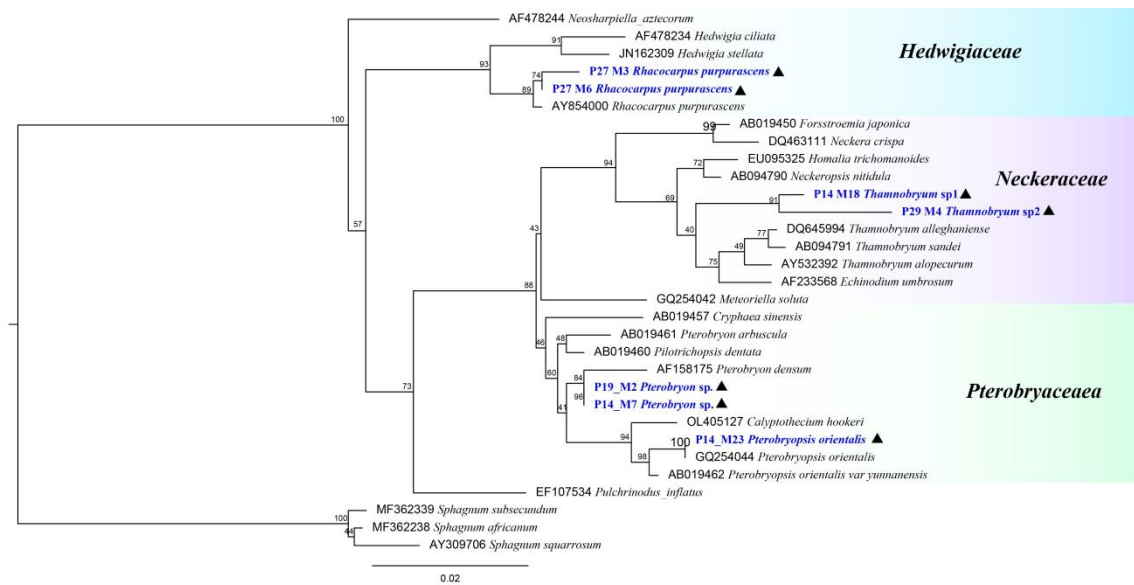
En este orden se lograron identificar cinco especies para el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta; las cuales se ubican en 3 familias formando clados con un soporte moderado (71/100) (Figuras 17 y 18).

**Familia Hedwigiaceae.** esta familia incluyó al espécimen P27\_M3, el cual es conespecífico con el musgo *Rhacocarpus purpurascens* (AY854000) cuya divergencia fue 0.6% (P27\_M3 = *Rhacocarpus purpurascens*).

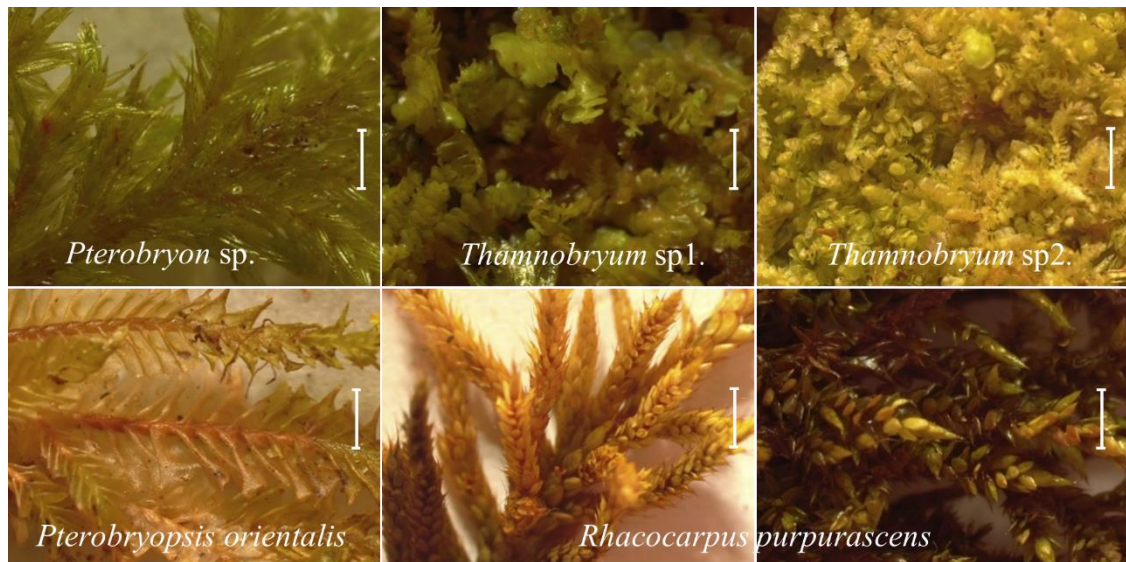
**Familia Neckeraceae.** Los especímenes P14\_M18 (*Thamnobryum* sp1.) y P29\_M4 (*Thamnobryum* sp2.), tuvieron una divergencia genética de 1.5% entre ellos y 1.8-2.2% con *Thamnobryum alleghaniense* (DQ645994), siendo especies hermanas.

**Familia Pterobryaceae.** El espécimen P14\_M23 fue conespecífico a *Pterobryopsis orientalis* (GQ254044), con una similitud del 100% (P14\_M23 = *Pterobryopsis orientalis*). El espécimen P14\_M7 (*Pterobryon* sp.) divergió genéticamente en 1% con *Pterobryon densum* (AF158175), la cual es su especie hermana.





**Figura 17.** Árbol filogenético para el orden Leucodontales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



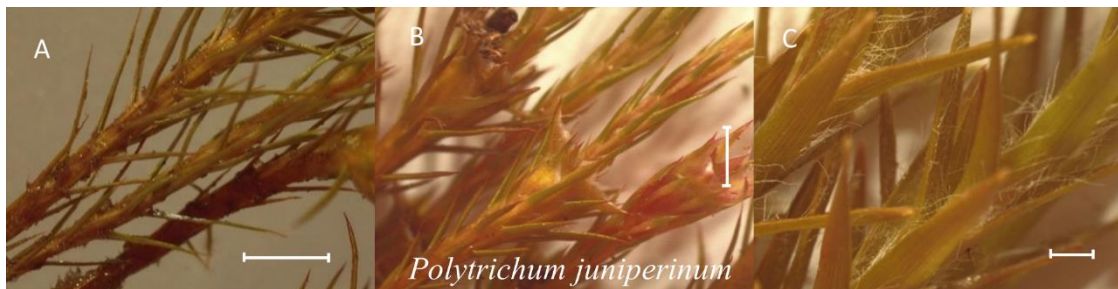
**Figura 18.** Especies de musgos de las familias Hedwigiaceae, Neckeraceae, Cryphaeaceae y Pterobryaceae perteneciente al orden Leucodontales. Escala = 1cm.



### 3.1.1.7. Polytrichales

La inferencia filogenética para este orden reveló una familia con una especie formando un clado con buen soporte (79/100) (Figuras 15 y 19). Para la inferencia filogenética se usó al orden Metzgeriales como grupo externo.

**Familia Polytrichaceae.** El espécimen P6\_M1 presentó una similitud genética de 99.9% con *Polytrichum juniperinum* (JN162293), evidenciando conespecificidad (P6\_M1 = *Polytrichum juniperinum*).

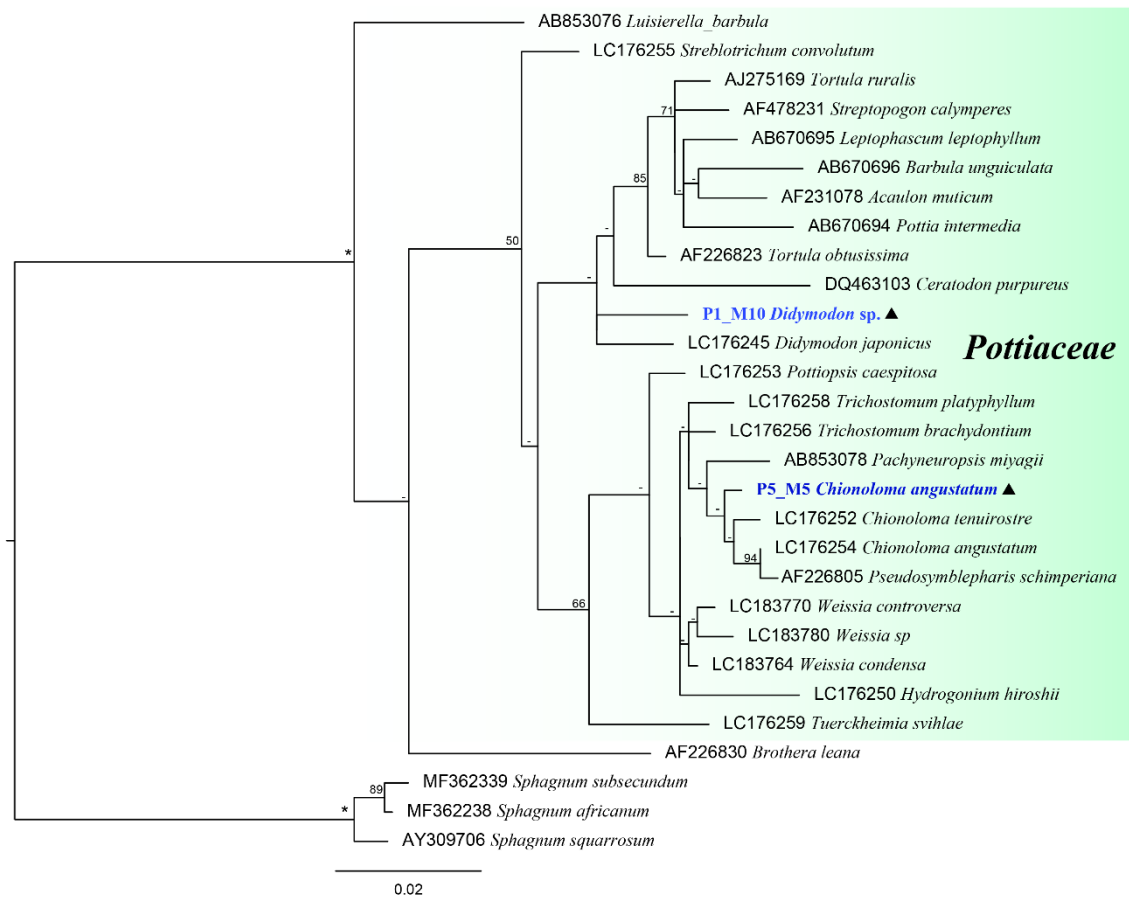


**Figura 19.** Especie de musgos de la familia Polytrichaceae perteneciente al orden Polytrichales. Escala = 1cm.

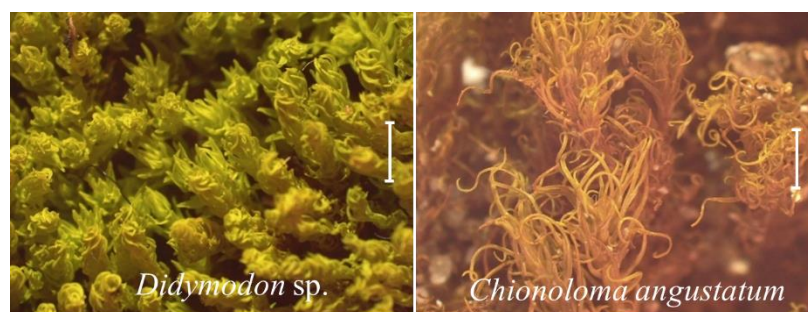
### 3.1.1.8. Pottiales

La inferencia filogenética para este orden reveló una familia con dos especies para el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta (Figuras 20 y 21).

**Familia Pottiaceae.** El espécimen P5\_M5 mostró una divergencia de 0.6% con *Chionoloma angustatum* (LC176254), reflejando conespecificidad (P5\_M5 = *Chionoloma angustatum*). Por otro lado, se encontró que el espécimen P1\_M10 (*Didymodon* sp.) es especie hermana de *Didymodon japonicus* (LC176245) al tener una divergencia de 1.7%.



**Figura 20.** Árbol filogenético para el orden Pottiales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.

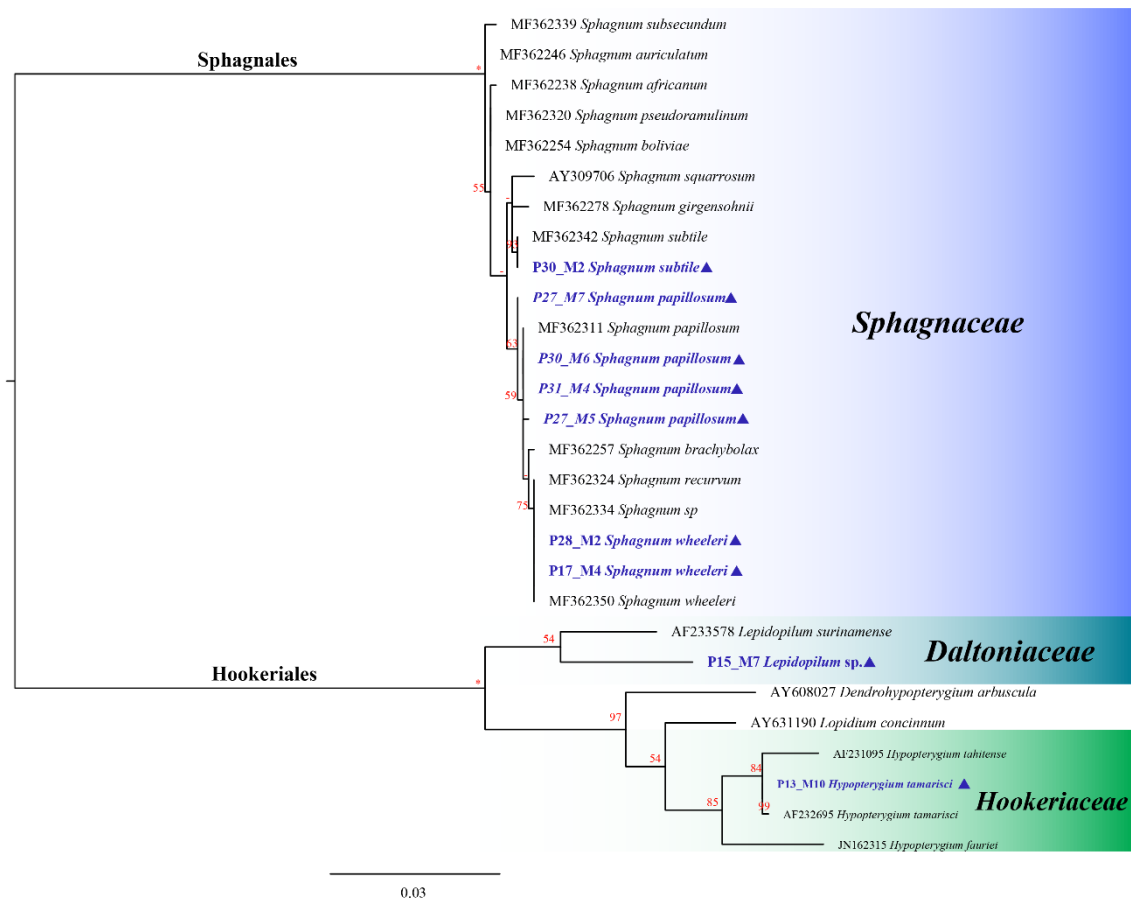


**Figura 21.** Especies de musgos de la familia Pottiaceae perteneciente al orden Pottiales. Escala = 1cm.

### 3.1.1.9. Sphagnales

El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden reveló 3 especies en una sola familia para el ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta (Figuras 22 y 23).

**Familia Sphagnaceae.** Los especímenes P30\_M2, P30\_M6 y P17\_M4 mostraron una elevada similitud genética (0.1% de divergencia) con *Sphagnum subtile* (MF362342), *Sphagnum papillosum* (MF362311) y *Sphagnum wheeleri* (MF362350), respectivamente (P30\_M2 = *Sphagnum subtile*, P30\_M6 = *Sphagnum papillosum*, P17\_M4 = *Sphagnum wheeleri*).



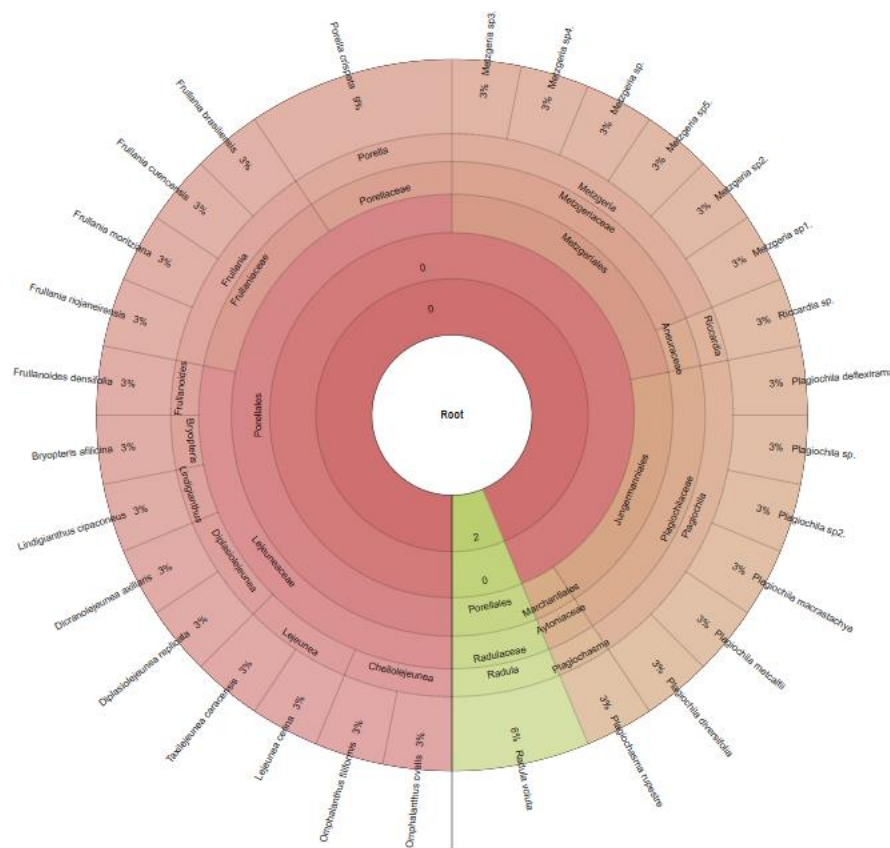
**Figura 22.** Árbol filogenético para los órdenes Sphagnales y Hookeriales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 23.** Especies de musgos de la familia Sphagnaceae perteneciente al orden Sphagnales. Escala = 1cm.

### 3.1.2. Marchantiophyta (Hepáticas)

Dentro de la división Marchantiophyta se logró identificar 18 géneros, pertenecientes a 11 familias, los cuales se ubicaron dentro de los siguientes 4 ordenes: Lycopodiales, Metzgeriales, Marchantiales, Jungermanniales y Porellales.



**Figura 24.** Porcentaje de especies en el grupo Marchantiophyta colectadas en la ACP San Pablo-Catarata de Gocta.



**Figura 25.** Gráfico circular representando la predominancia de especies de hepáticas encontradas en la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta. El orden Porellales junto con Jungermanniales muestran dominancia frente a grupos como Marchantiales el cual solo posee una especie.

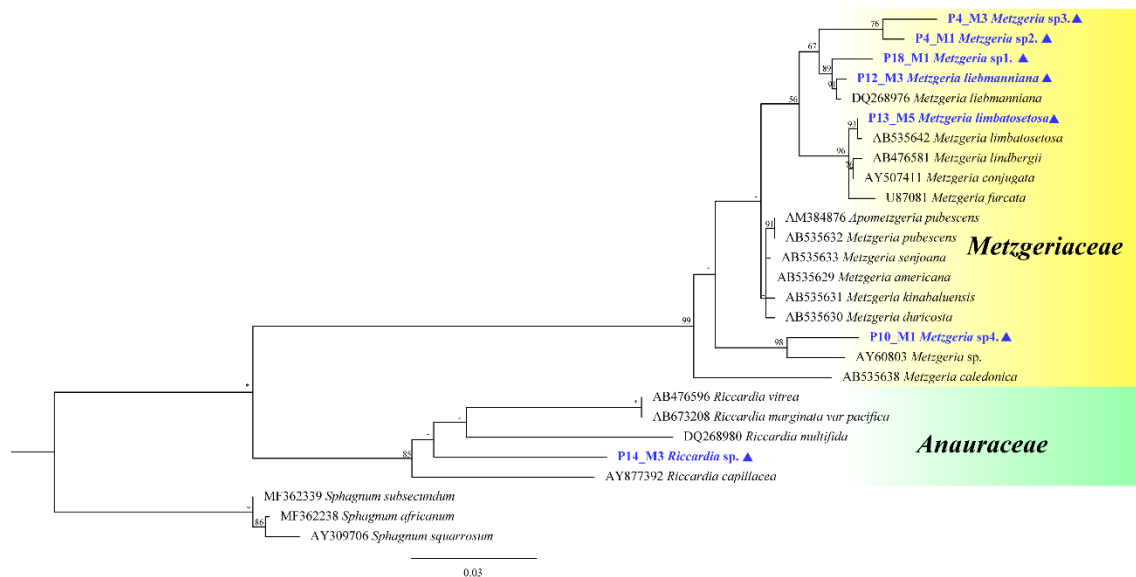
### 3.1.2.1. Metzgeriales

El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden permitió identificar siete especies ubicadas en dos familias (Figuras 26 y 27).

**Familia Anauraceae.** El espécimen P14\_M3 (*Riccardia* sp.), con una divergencia de 7.3%, se resolvió como especie hermana de *Riccardia marginata var pacífica* (AB673208).

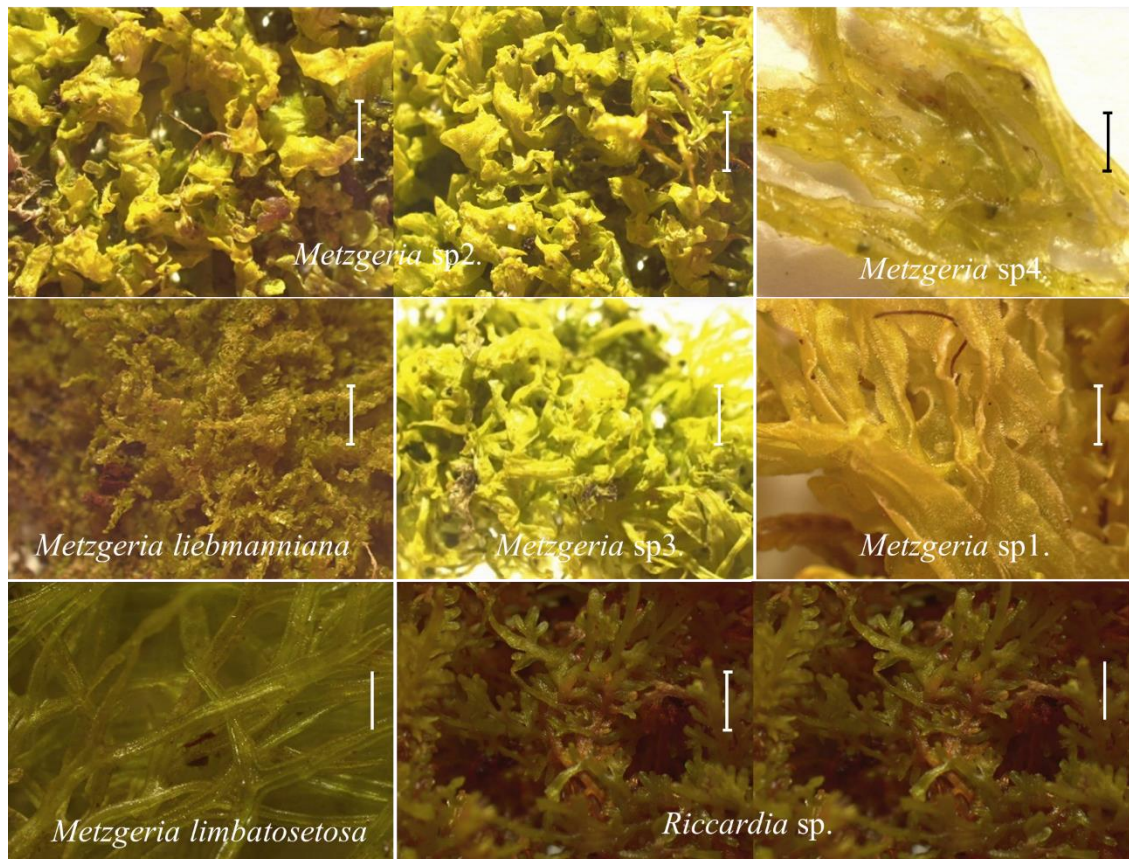
**Familia Metzgeriaceae.** Los especímenes P12\_M3 y P13\_M5 se resolvieron conespecíficos con *Metzgeria liebmanniana* (DQ268976, 99.7% de similitud) y *Metzgeria limbatosetosa* (DQ268976, 100% de similitud), respectivamente, (P12\_M3 = *Metzgeria liebmanniana* y P13\_M5 = *Metzgeria limbatosetosa*). Por otro lado, los

especímenes P18\_M1 (*Metzgeria* sp1.), P4\_M1 (*Metzgeria* sp2.), P4\_M3 (*Metzgeria* sp3.) y P10\_M1 (*Metzgeria* sp.4) resultaron ser diferentes especies del género *Metzgeria* (AY608035) con divergencias genéticas elevadas (1.2 – 3.4%).



**Figura 26.** Árbol filogenético para el orden Mezgeriales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



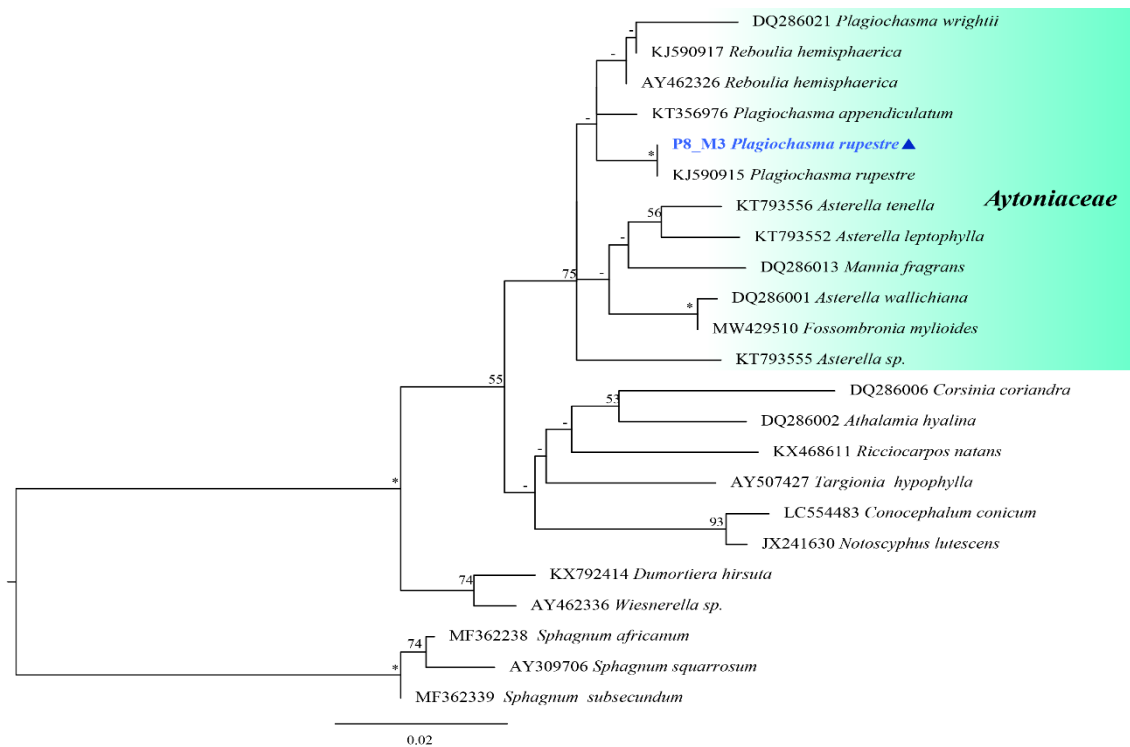


**Figura 27.** Especies de hepáticas de la familia Anauraceae y Metzgeriaceae perteneciente al orden Metzgeriales. Escala = 1cm.

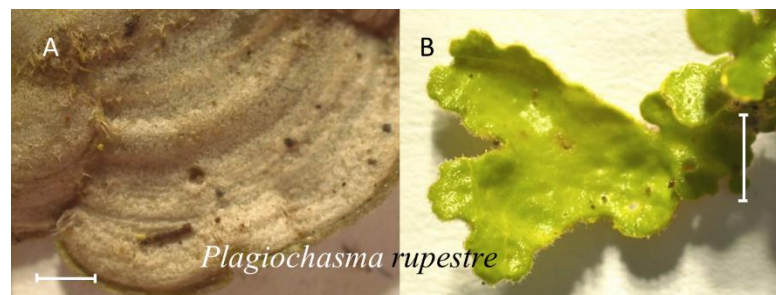
### 3.1.2.2. Marchantiales

El análisis de filogenia molecular de este grupo reveló una especie ubicada en la familia Aytoniaceae con un buen soporte (100/100) (Figuras 28 y 29).

**Familia Aytoniaceae.** El espécimen P8\_M3 se resolvió en conespecificidad con *Plagiochasma rupestre* (KJ590915) al tener un 100% de similitud genética (P8\_M3 = *Plagiochasma rupestre*).



**Figura 28.** Árbol filogenético para los órdenes Marchantiales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 29.** Especie de hepáticas de la familia Aytoniaceae perteneciente al orden Marchantiales. Escala A = 1cm, escala B = 2cm.

### 3.1.2.3. Jungermanniales

El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden incluyó un total de 122 secuencia y 991 pb (caracteres), siendo *Sphagnum africanum* (MF362238), *Sphagnum squarrosum* (AY309706) y *Sphagnum subsecundum* (MF362339), usados como grupo externo. En este orden se identificaron 17 especies de hepáticas, siendo el grupo más



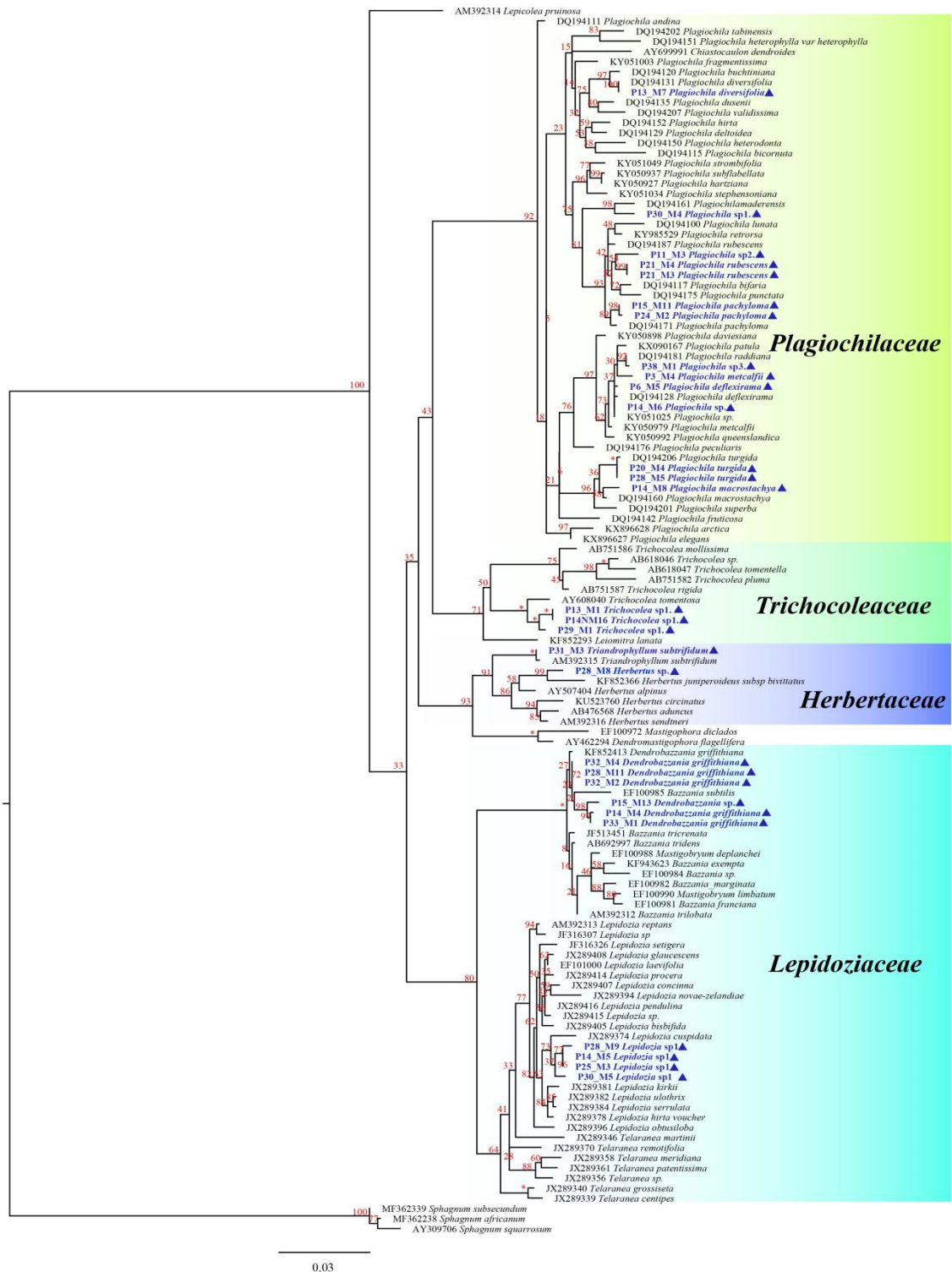
grandes encontrado en el ACP Comunal San Pablo Catarata de Gocta (Figuras 30 y 31). En este orden se encontraron cuatro familias.

**Familia Herbertaceae.** El espécimen P31\_M3 resultó en conespecificidad con *Triandrophyllum subtrifidum* (AM392315) con una similitud del 99.9% (P31\_M3 = *Triandrophyllum subtrifidum*). Por otro lado, el espécimen P28\_M8 (*Herbertus* sp.), al tener una divergencia de 1.4% con *Herbertus juniperoideus* subsp *bivittatus* (KF852366), se resuelven como especies hermanas.

**Familia Lepidoziaceae.** El espécimen P28\_M11 se resolvió conespecífica con *Dendrobazzania griffithiana* (KF852413) al presentar una divergencia de 0.2% (P28\_M11 = *Dendrobazzania griffithiana*). Por el contrario, los especímenes P15\_M13 (*Dendrobazzania* sp.) y P14\_M5 (*Lepidozia* sp1.), al mostrar valores de divergencia superiores a 1.0% con sus especies hermanas, resultaron ser especies pertenecientes a los géneros *Dendrobazzania* y *Lepidozia*, respectivamente.

**Familia Plagiochilaceae.** En esta familia se registraron 11 especies. El espécimen P30\_M4 (*Plagiochila* sp1) es especie hermana de *Plagiochila maderensis* (DQ194161, 1.2% divergencia). El espécimen P11\_M3 (*Plagiochila* sp2.) presentó una divergencia genética superior al 1% con *Plagiochila rubescens* (DQ194161) confirmando su condición de especies hermanas. Asimismo, el espécimen P38\_M1 (*Plagiochila* sp3.) es especie hermana con *Plagiochila raddiana* (DQ194187, 1.0% divergencia). Por otro lado, los siguientes especímenes se ubicaron dentro del género *Plagiochila* al mostrar divergencias genéticas que fluctuaron entre 0 - 0.7% con sus congéneres: P21\_M3 (*Plagiochila rubescens*), P13\_M7 (*Plagiochila diversifolia*), P15\_M11 (*Plagiochila pachyloma*), P3\_M4 (*Plagiochila metcalfei*), P6\_M5 (*Plagiochila deflexirama*), P14\_M6 (*Plagiochila* sp.), P20\_M4 (*Plagiochila turgida*) y P14\_M8 (*Plagiochila macrostachya*).

**Familia Trichocoleaceae.** El espécimen P13\_M1 (*Trichocolea* sp.), difiere genéticamente en 1.3% de su especie hermana *Trichocolea tomentosa* (AY608040).



**Figura 30.** Árbol filogenético para el orden Jungermanniales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 31.** Especies de hepáticas de las familias Herbertaceae, Lepidoziaceae, Plagiochilaceae, Trichocoleaceae perteneciente al orden Jungermanniales. Escala = 1cm.



#### 3.1.2.4. Porellales

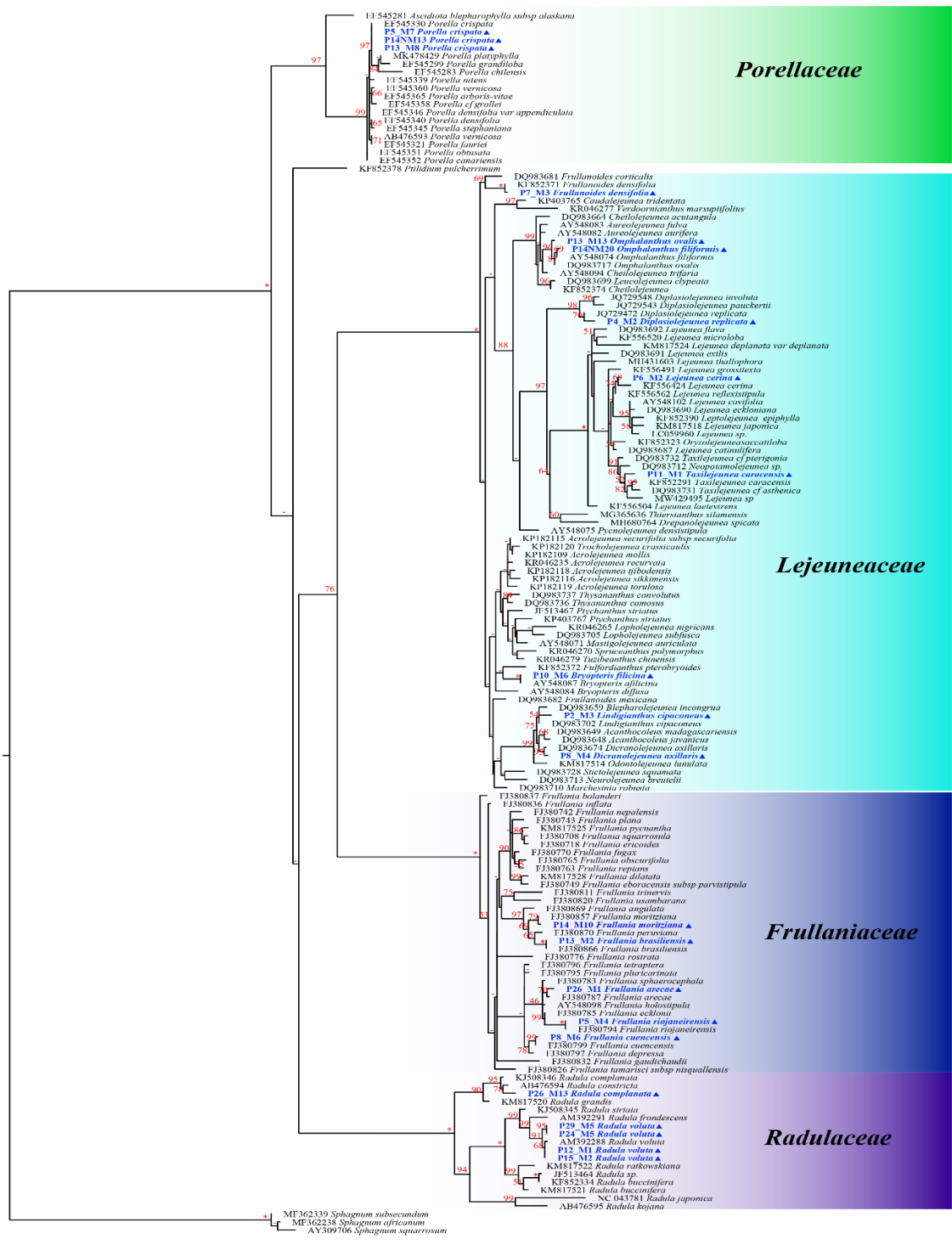
El análisis de filogenia molecular de los miembros de este orden incluyó un total de 150 secuencia y 991 pb, siendo *Sphagnum africanum* (MF362238), *Sphagnum squarrosum* (AY309706) y *Sphagnum subsecundum* (MF362339), usados como grupo externo. En este orden se identificaron 17 especies de hepáticas, siendo uno de los grupos más grandes de briofitos encontrados en el ACP Comunal San Pablo Catarata de Gocta junto con las Jungermanniales. Este grupo está compuesto por 4 familias monofiléticas (Figuras 32 y 33). Las especies de las cuatro familias lograron identificarse con un alto porcentaje de similitud genética.

**Familia Frullaniaceae.** Los especímenes P26\_M1, P13\_M2, P8-M6, P14-M10 y P5\_M40, quienes presentaron valores de similitud superiores al 99.3%, se encuentran en conespecificidad con *Frullania arecae* (FJ380787), *Frullania brasiliensis* (FJ380866), *Frullania cuencensis* (FJ380799), *Frullania moritziana* (FJ380857) y *Frullania riojaneirensis* (FJ380794), respectivamente (P26\_M1 = *Frullania arecae*, P13\_M2 = *Frullania brasiliensis*, P8-M6 = *Frullania cuencensis*, P14-M10 = *Frullania moritziana*, P5\_M40 = *Frullania riojaneirensis*).

**Familia Lejeuneaceae.** Se identificaron nueve especies [*Bryopteris filicina* (P10\_M6), *Dicranolejeunea axillaris* (P8\_M4), *Diplasiolejeunea replicata* (P4\_M2), *Frullanoides densifolia* (P7\_M3), *Lejeunea cerina* (P6\_M2), *Lindigianthus cipaconeus* (P2\_M3), *Omphalanthus filiformis* (P14\_M20), *Omphalanthus ovalis* (P13\_M13) y *Taxilejeunea caracensis* (P11\_M1)] con un porcentaje de similitud superior a 99.1 %.

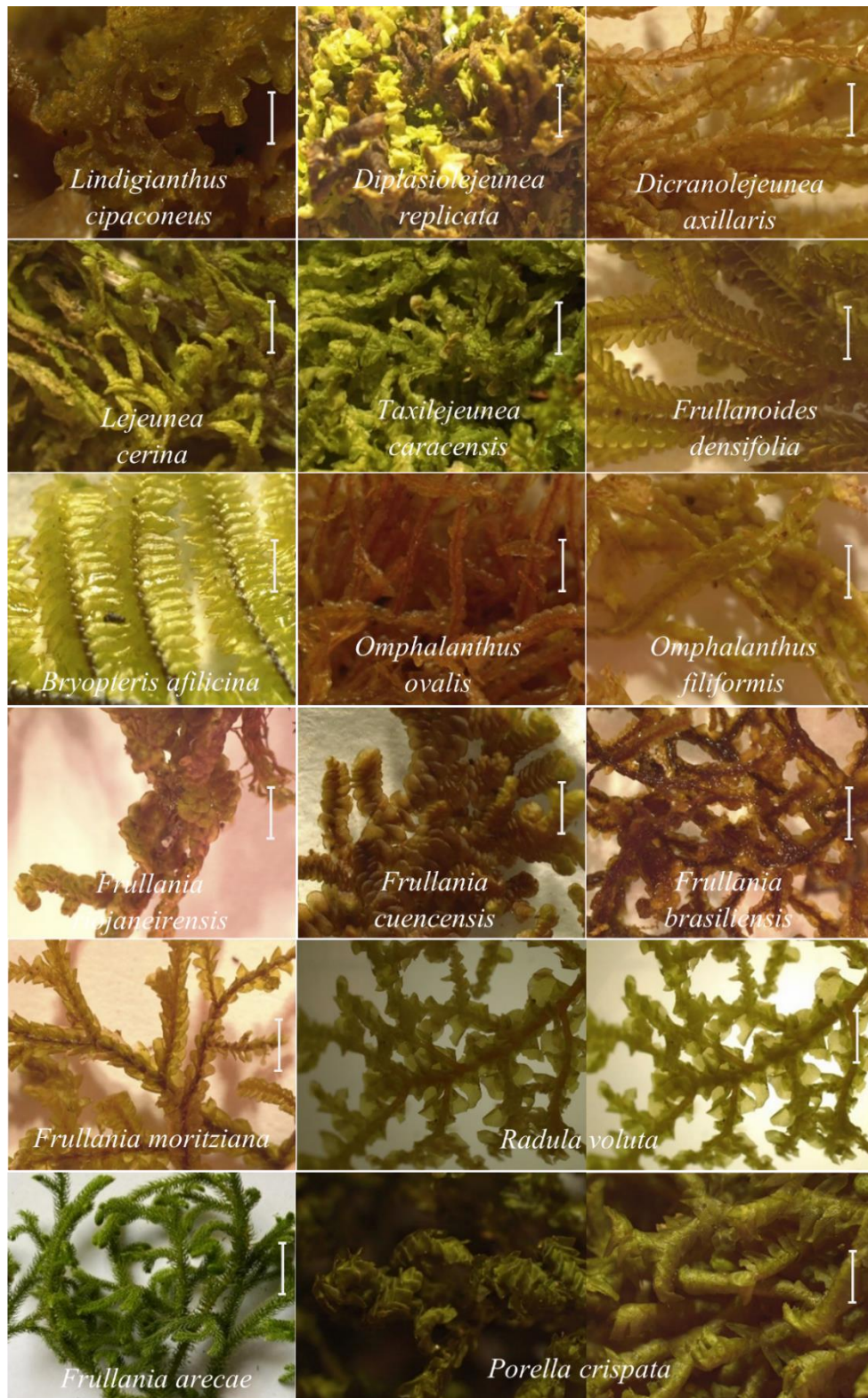
**Familia Porellaceae.** El espécimen P5\_M7 resultó en conespecificidad con *Porella crispata* (EF545330) (P5\_M7 = *Porella crispata*).

**Familia Radulaceae.** El espécimen P12\_M1 se resolvió en conespecificidad con *Radula voluta* (AM392288, 0.2% de divergencia) (P12\_M1 = *Radula voluta*).



**Figura 32.** Árbol filogenético para el orden Porellales basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador plastidial *rbcL*. Valores de soporte (bootstrap) de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. Los asteriscos indican máximo soporte, mientras que "-" indican soporte inferior a 50. La escala inferior indica el número de

sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.



**Figura 33.** Especies de hepáticas de las familias Frullaniaceae, Lejeuneaceae, Porellaceae y Radulaceae perteneciente al orden Porellales. Escala = 1cm.

### 3.1.3. Nuevos reportes de especies de briofitos para Perú.

En base a los resultados y tomando en cuenta solo los especímenes que se resolvieron a nivel de especies, en presente estudio se identificaron 46 especies que representan nuevos reportes para el Perú [18 especies de Bryophyta (musgos) y 28 especies de Marchantiophyta (hepáticas)] (Tabla 4).

**Tabla 4.** Nuevos reportes de especies de Musgos y Hepáticas para Perú.

<b>Especies</b>	<b>Reportes (Países)</b>
<b>Bryophyta (Musgo)</b>	
<i>Brachymenium preissianum</i>	Australia y Nueva Zelanda.
<i>Brachythecium rutabulum</i>	Argentina, Australia, China, Colombia, Guatemala, Isla Hawaiana, Islas del Príncipe Eduardo, Japón, Nueva Zelanda, Papua y Nueva Guinea, Portugal.
<i>Brachythecium salebrosum</i>	Malawi, República Democrática del Congo, Rwanda, Sudáfrica, Suazilandia, Zimbabue.
<i>Bryum algovicum</i>	EE. UU, Japón, Mongolia.
<i>Campylopus umbrellatus</i>	Vietnam.
<i>Chionoloma angustatum</i>	Malasia.
<i>Dicranum scoparium</i>	Canadá, China, Groenlandia, Indonesia, Japón, México, Mongolia, Nueva Zelanda.
<i>Hypopterygium tamarisci</i>	Belice, Bioko, Brazil, Burundi, Camerún, Caribe, Comoros, Eritrea, Etiopía, Gabón, Ghana, Islas mascareños, Kenia, Madagascar, Malawi, Mauricio, México, República Democrática del Congo, Reunión, Ruanda, Sao Tome, Sud África, Tanzania, Uganda, Zimbabue.
<i>Leucobryum albidum</i>	Belice, Brazil, Canadá, Caribe, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, India, México, Panamá.

<i>Polytrichum juniperinum</i>	Antártida, Australia, Brazil, Camerún, Canadá, Caribe, China, Colombia, Costa Rica, EE. UU, El Salvador, Groenlandia, Guatemala, Hawái, Honduras, Japón, Lesoto, México, Mongolia, Nueva Zelanda, Panamá, Rusia, Sud África, South Georgia, Sudan.
<i>Pterobryopsis orientalis</i>	China.
<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	Australia, Bioko, Brazil, Camerún, Caribe, China, Colombia, Comoros, Guinea Ecuatorial, Filipinas, Gabón, Isla Hawaiana, Indonesia, Kenia, Madagascar, Malawi, Mauricio, México, Mozambique, Paraguay, República Democrática del Congo, Reunión, Ruanda, Sao Tome, Seychelles, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Vietnam, Zimbabue.
<i>Rhacocarpus purpurascens</i>	Argentina, Australia, Bolivia, Brazil, Caribe, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Nueva Zelanda, República Democrática del Congo, Reunión, Ruanda, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Venezuela, Zaire, Zimbabue.
<i>Rhodobryum ontariense</i>	EE. UU, Filipinas, Kenia, Lesoto, Madagascar, Malawi, Sudáfrica, Tanzania, Uganda.
<i>Sphagnum papillosum</i>	Brazil, Canadá, EE. UU, Turquía.
<i>Sphagnum subtile</i>	Canadá, EE. UU.
<i>Sphagnum wheeleri</i>	Hawái.
<i>Thuidium tamariscinum</i>	Brazil, Caribe, Colombia, El Salvador, Etiopía, Japón, Reunión, Tanzania, Uganda.
<b>Marchantiophyta (Hepáticas)</b>	
<i>Bryopteris afilicina</i>	Brazil, Ecuador, México.
<i>Dendrobazzania griffithiana</i>	EE. UU
<i>Dicranolejeunea axillaris</i>	Argentina, Ecuador, México.
<i>Diplasiolejeunea replicata</i>	Brazil, Ecuador.
<i>Frullania arecae</i>	Brazil

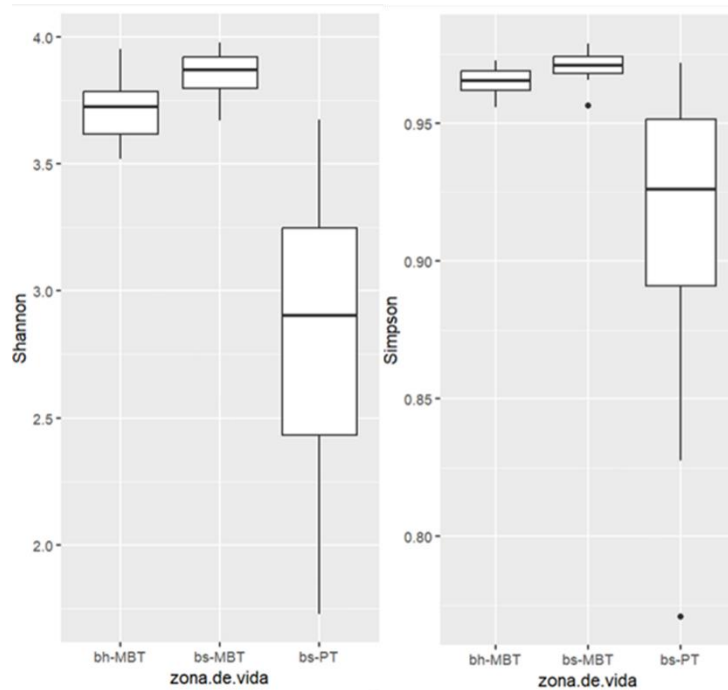


<i>Frullania brasiliensis</i>	Brazil, Ecuador, México, Venezuela.
<i>Frullania cuencensis</i>	Brazil, Ecuador.
<i>Frullania moritziana</i>	México
<i>Frullanooides densifolia</i>	Brazil, Ecuador, México.
<i>Lejeunea cerina</i>	Brazil, Ecuador.
<i>Lindigianthus cipaconeus</i>	Ecuador
<i>Metzgeria liebmanniana</i>	Brazil, Ecuador.
<i>Metzgeria limbato-setosa</i>	Ruanda
<i>Omphalanthus filiformis</i>	Brazil, México.
<i>Omphalanthus ovalis</i>	Bolivia
<i>Plagiochasma rupestre</i>	Brazil, China, Ecuador, India, Isla de la sociedad.
<i>Plagiochila deflexirama</i>	Brazil, Ecuador.
<i>Plagiochila diversifolia</i>	Brazil, Ecuador, México.
<i>Plagiochila macrostachya</i>	Brazil, Caribe, Ecuador, Madagascar.
<i>Plagiochila metcalfei</i>	Australia
<i>Plagiochila pachyloma</i>	Ecuador
<i>Plagiochila rubescens</i>	Finlandia
<i>Plagiochila turgida</i>	Costa Rica, Ecuador.
<i>Porella crispata</i>	Ecuador, México
<i>Radula complanata</i>	China, Corea del Sur, EE. UU, Indonesia, Japón, México, Rusia.
<i>Radula voluta</i>	Brazil, EE. UU, Ecuador, Irlanda, Venezuela.
<i>Taxilejeunea caracensis</i>	México
<i>Triandrophyllum subtrifidum</i>	Brazil, Caribe, Colombia, El Salvador, Etiopía, Japón, Reunión, Tanzania, Uganda.

### 3.2. Evaluación de la variación de la diversidad de especies de briofitas a lo largo de la ACP Comunal San Pablo-Catarata de Gocta, Amazonas.

#### 3.2.2. Índices de diversidad.

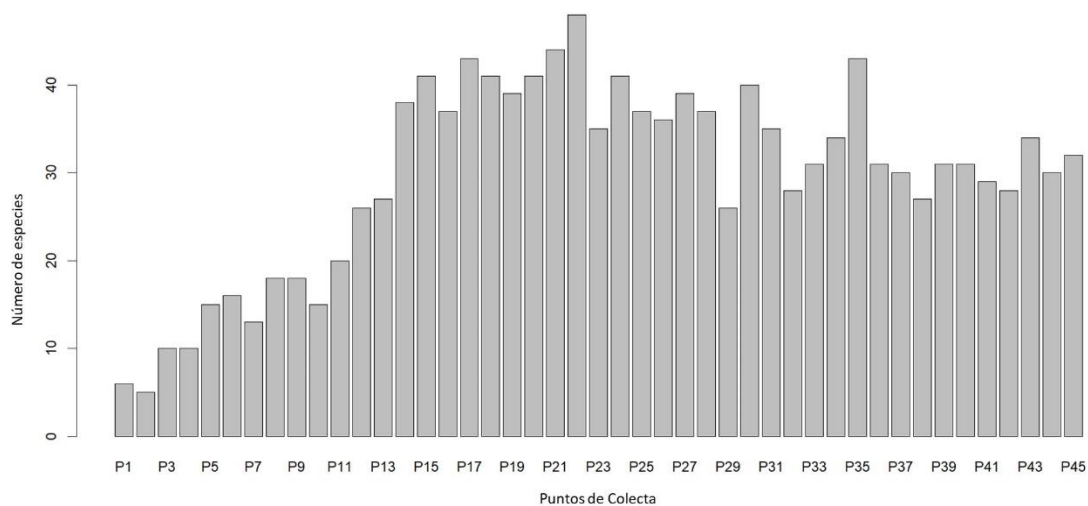
Después de identificar las especies, se calcularon los índices de diversidad para las zonas de vida a lo largo de la ACP. Los valores del índice de Shannon en la ACP oscilaron entre 2.85 - 3.85 y los del índice de Simpson entre 0.93 - 0.97. El índice de Shannon y Simpson para el bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT) fue 3.85 y 0.97, para el bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT) fue 3.71 y 0.96 y para el bosque seco bajo tropical (bs-PT) fue 2.85 y 0.93, respectivamente. Esto refleja una elevada riqueza de musgos y hepáticas en el ACP (Figura 34). En relación a las zonas de vida, el índice de Shannon reveló mayor diversidad en bs-MBT y menor en bs-PT. Este resultado también fue confirmado por el índice de Simpson con mayor número de especies en bs-MBT y menor en bs-PT.



**Figura 34.** Diagrama de caja de la riqueza y diversidad de especies según el índice de Shannon y Simpson. bh- MBT (bosque húmedo montano bajo tropical), bs-MBT (bosque seco montano bajo tropical) y bs-PT (bosque seco premontano tropical) representan las tres zonas de vida.

Adicionalmente, se evaluó la diversidad de especies en cada punto de colecta (Figura 35). Se encontró que el punto 22, ubicado en la zona bs-MBT, posee una riqueza mayor en

comparación con los otros puntos de colecta. Las especies más predominantes fueron *Boulaya* sp, *Dicranolejeunea axillaris* y *Frullania cuencensis* (Figuras 36 y 37) en todo el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta, estando presente en casi todos los puntos de colecta. Por otra parte, la especie *Pterobryopsis orientalis*, fue una de las especies que tuvo una menor presencia dentro del ACP, solo evidenciando su presencia en 11 puntos de colecta.



**Figura 35.** Riqueza de especies por cada punto de colecta. En el eje “x” se ubican los puntos de muestreo y en el eje “y” se ubican el número de especies. Los puntos P1 – P15 representan al bs-PT (bosque seco premontano tropical), P16 – P30 al bs-MBT (bosque seco montano bajo tropical) y P31 – P45 al bh- MBT (bosque húmedo montano bajo tropical). El punto 22 presenta mayor número de especies de briofitos, mientras que el punto 2 registra el menor número especies de briofitos.

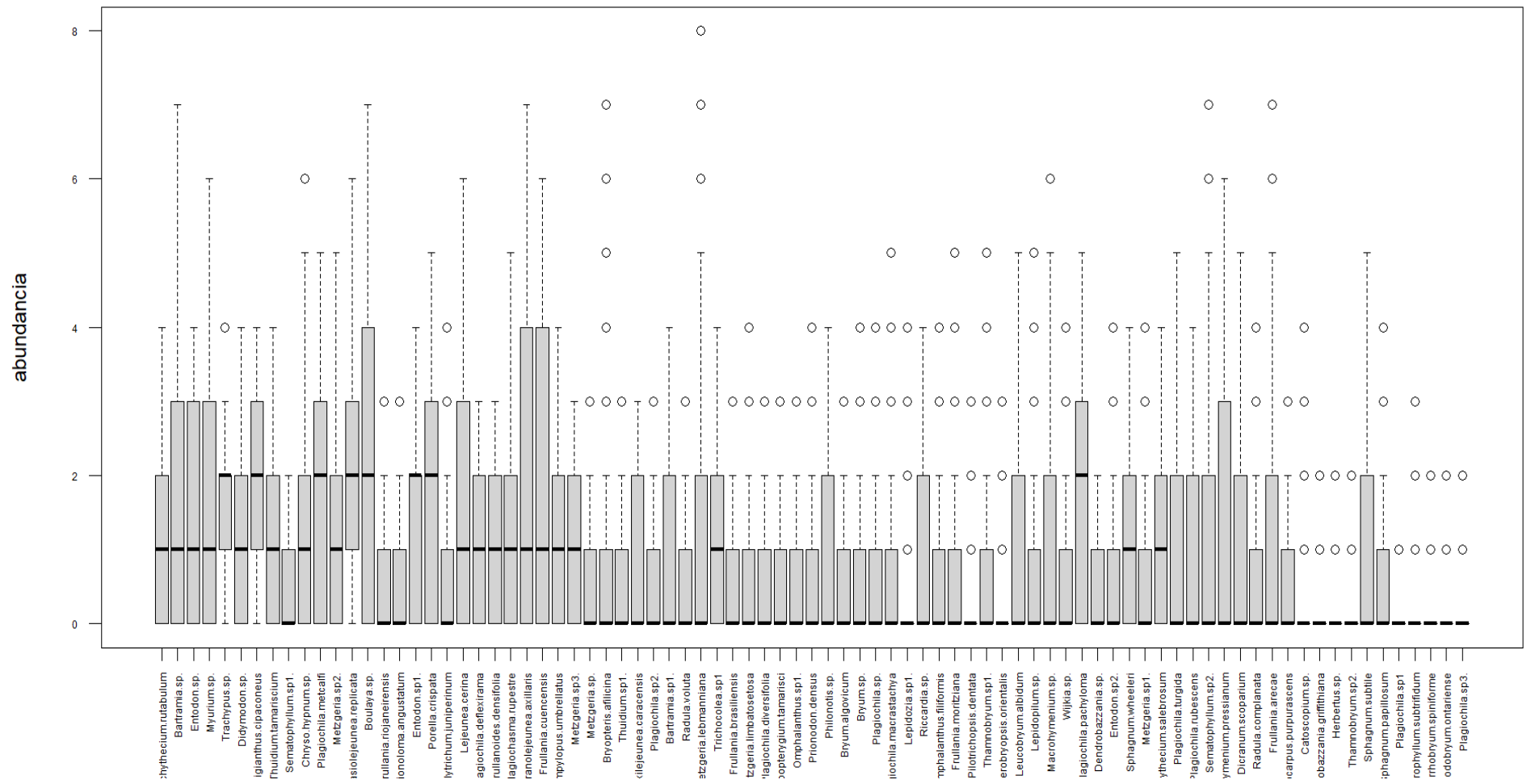
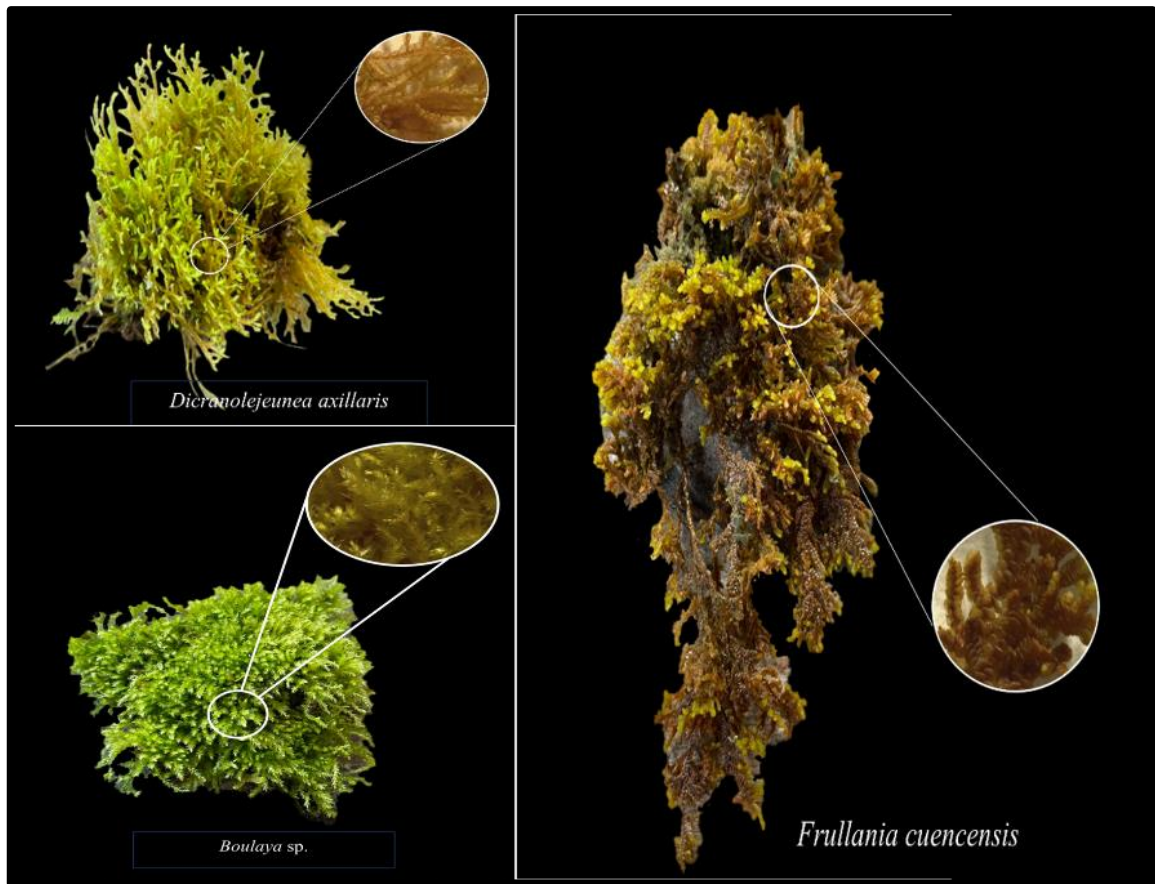


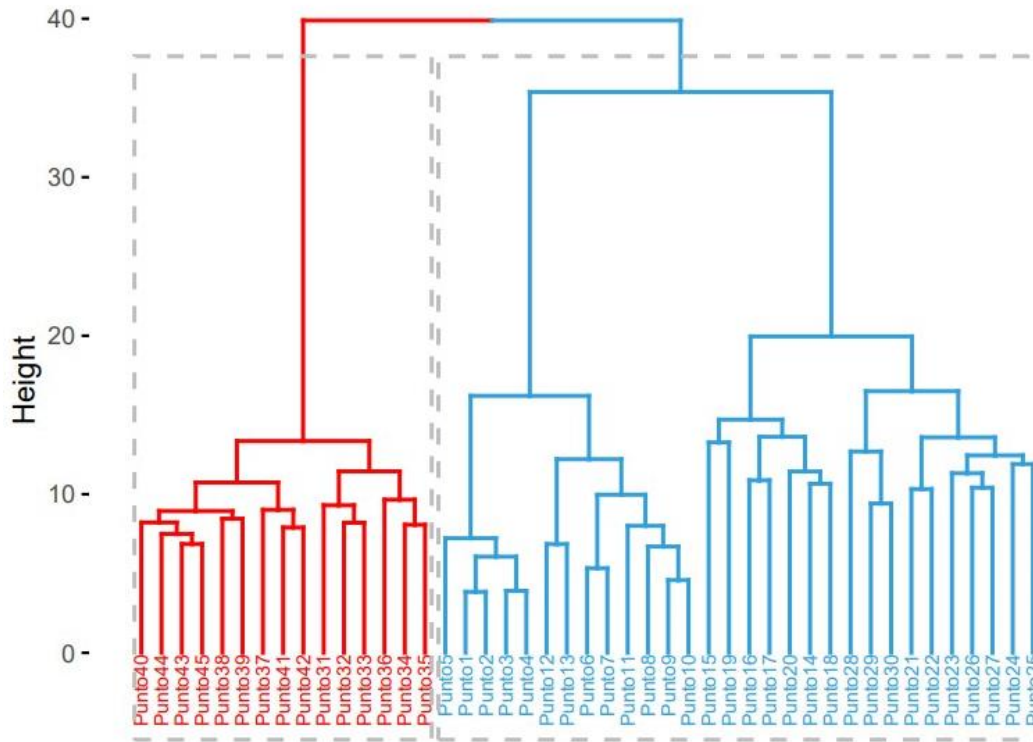
Figura 36. Gráfico de abundancia de especies en el ACP Comunal San Pablo – Catara de Gocta.



**Figura 37.** Especies predominantes en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta.

### 3.2.3. Similitud de composición de especies.

La similitud de las especies se expresó mediante un análisis de conglomerados, el cual refleja la similitud que poseen las tres zonas de vida del ACP en la composición de las especies (Figura 38). El análisis demuestra que la zona bs-PT y la zona bs-MBT presentan similitudes formando un clúster por la gran cantidad de especies en común. Mientras que la zona bh-MBT forma un clúster diferenciado de las otras dos zonas, demostrando una composición de especies diferente. Se observó una zona de transición entre las zona de vida de Bosque Seco Premontano Tropical (bs-PT) y Bosque Seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT) representado por los puntos de colecta 14 y 15, dichos puntos abarcan aproximadamente 1km<sup>2</sup> incluyendo un total de 21 especies colectadas entre ambos puntos.



**Figura 38.** Dendrograma del análisis de conglomerados de las zonas de vida bs-PT (Puntos 1-15), bs-MBT (Puntos 16-30) y bh-MBT (Puntos 31-45). La zona bs-PT y bs-MBT presentan similitud en la composición de sus especies. Los puntos 15 y 16 representan la existencia de una zona de transición entre las zona de vida de Bosque Seco Premontano Tropical (bs-PT) y Bosque Seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT) representado por los puntos de colecta 14 y 15, dichos puntos abarcan aproximadamente 1km<sup>2</sup>.

## IV. DISCUSIÓN

En esta investigación se colectó un total de 139 muestras en la ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. Luego de los análisis morfológicos, genéticos y de diversidad se registró la presencia de 83 especies de briofitas ubicadas en 49 géneros y 32 familias. Estos hallazgos sorprenden, ya que comparados a las 85 especies, 52 géneros y 24 familias de un total de 747 muestras colectadas en el Parque Nacional de Boa Nova, Brasil de 120 Km<sup>2</sup> (De Souza et al. 2017) y 63 especies, 42 géneros y 23 familias de un total de 1,125 muestras colectadas en fragmentos de bosque seco tropical, Montes de María de 6,297 Km<sup>2</sup> (García-Martínez & Mercado-Gómez 2017). La alta diversidad de briofitos presentes en el ACP tiene una gran importancia ecológica a pesar de solo contar con 26.03 Km<sup>2</sup>. Esta elevada diversidad sería consecuencia de la posición estratégica de la ACP en las yungas peruanas, la cual es considerado como hotspots de diversidad biológica y los altos niveles de endemismo (Arias et al., 2016).

### 4.1. Bryophyta (musgos)

#### 4.1.1. Bryales

El orden Bryales está compuesto por 10 familias (Buck & Goffinet 2012). De éstas, cuatro familias (Bartramiaceae, Bryaceae, Catosciaceae, Rhizogoniaceae) fueron reportadas para el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. La familia Bartramiaceae alberga aproximadamente 400 especies principalmente distribuidas en América del Sur (Virtanen, 2003). La familia Bartramiaceae fue resuelta como parafilética por Virtanen (2003). El presente estudio también confirma esta parafilia al encontrar tres especies de los géneros *Bartramia* (*Bartramia* sp2 y *Bartramia* sp1.) y *Philonotis* (*Philonotis* sp.), ubicadas en clados diferentes al resto de especímenes de la familia Bartramiaceae (Fig. 8). Estos géneros han sido reportados moderadamente en el hemisferio sur. Por ejemplo, Çárdenas Ángeles (2000) reportó 12 especies de *Bartramia* en el valle de México, Martín-Suárez et al. (2017) solo reportó 1 especie (*Bartramia laevisphaera*) en Uruguay y Jimenez et al. (2014) reportó 12 especies de *Philonotis* para Chile. El bajo número de especies reportadas en estos géneros sugiere la necesidad de expediciones adicionales para una mejor caracterización de la diversidad en esta familia (Virtanen, 2000).

La familia Bryaceae se resolvió en monofilia (Pedersen et al. 2003) con la presencia de tres géneros (*Brachymenium*, *Bryum*, *Rhodobryum*). Cada uno de estos géneros está compuesto por más 60 especies, resaltando las 200 especies registradas en *Bryum*

(Erzberger & Schröder, 2013; Gupta et al., 2016; TROPICOS, 2023). El presente estudio identificó dos especies del género *Bryum* y una especie de los géneros *Brachymenium* y *Rhodobryum*. Esto sugiere colectas adicionales para develar la diversidad de estos géneros, ya que sus especies abundan en climas de bosques nublosos y son morfológicamente muy complicadas de identificar, principalmente por la similitud morfológica (Erzberger & Schröder, 2013; Gupta et al., 2016). Varias especies de estos géneros han sido reportadas en bosque tropical de Rio de Janeiro, Brazil (3 *Brachymenium* y 10 *Bryum*) (Da Costa & Lima, 2005), Hungría (34 taxones de *Bryum*) (Erzberger & Schröder, 2013), India (4 especies de *Brachymenium*) (Gupta et al., 2016) y Venezuela (2 especies de *Rhodobryum*) (Morales, 2009). Esto confirma la amplia distribución geográfica de estas especies.

La familia Catosciaceae fue registrada con la presencia del género *Catoscopium* en el ACP. Este género alberga 2 especies (*C. martianum* y *C. nigratum*) (TRÓPICOS 2023) y la encontrada en este estudio podría ser candidata a una nueva especie con distribución endémica para la ACP, ya que no tiene una coincidencia genética ni morfológica con ninguna de las dos especies registradas en el género. Colectas adicionales y la amplificación de otros marcadores moleculares brindarían mayor soporte para la descripción de este nuevo taxa en estudios adicionales.

La familia Rhizogoniaceae está compuesta de cinco géneros y ocho especies distribuidas en el neotrópico (Ballejos & Passos-Bastos, 2006). Este estudio solamente reportó la especie *Pyrrhobryum spiniforme*, la cual también se encuentra presente en el Parque Estatal Sete Passagens en Brasil (Ballejos & Passos Bastos, 2006), sugiriendo una amplia distribución de esta especie en el Hemisferio sur.

#### **4.1.2. Dicranales**

Este orden de musgos posee una amplia distribución global, incluyendo zonas polares y tropicales (La Farge et al., 2002). En la ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta se identificó dentro de este orden únicamente a la familia Dicranaceae con tres géneros (*Campylopus*, *Dicranum* y *Leucobryum*) y tres especies. Resultados similares se obtuvieron al reportar cuatro géneros con 22 especies para el complejo de páramos Guantiva – La Rusia en Colombia (Martínez-O et al., 2019) y dos géneros con dos especies para el remanente de bosque Atlántico Brasileño (De Souza et al., 2017). Las especies reportadas en este estudio (*Campylopus umbrellatus*, *Dicranum scoparium*,



*Leucobryum albidum*) son las especies que presentan una mayor distribución dentro de las Dicranaceae (Pichonet & Gradstein, 2012). Especialmente, el género *Dicranum* es uno de los más diversos y predominantes en el hemisferio norte (Lang & Stech, 2014; Lang et al., 2015) y, que además, tiene una alta plasticidad morfológica (Lang et al., 2015). Por ello, el uso del marcador molecular *rbcL* fue crucial para la caracterización de las especies de este orden.

#### **4.1.3. Hookeriales, Hypnales y Leucodontales**

Los musgos de los órdenes Hypnales, Hookeriales y Leucodontales son conocidos como pleurocarpos por tener una extensa ramificación y colocación lateral de los esporofitos (Buck et al., 2004). Estos grupos son considerados muy diversos (Johnson et al., 2016).

Los Hookeriales incluyen alrededor de 650 especies presentes en 7 familias y distribuidas predominantemente en bosques húmedos de los trópicos y la zona templada del sur (Buck et al., 2004; Pokorny et al., 2012). En la ACP se lograron determinar dos especies (*Lepidopilum* sp. y *Hypopterygium tamarisci*) de las familias Daltoniaceae y Hookeriaceae. Ambas familias comprenden especies distribuidas en una amplia gama de hábitats, desde terrestres hasta epífitos y, ocasionalmente, epífilos (Ho et al., 2012; Welch, 2015). Tanto *Lepidopilum* sp. como *Hypopterygium tamarisci* predominaron en el suelo y en las ramas de los árboles. De las 64 especies descritas en el género *Lepidopilum* solo se registró una especie en el ACP (Trópicos 2023). Esta baja ocurrencia de especies en este género ha sido previamente reportado en los bosques húmedos Brasileños (De Souza et al., 2017). Esto sugiere posiblemente, estacionalidad o mimetismo de las especies de este género dentro del hábitat donde se desarrollan (Ho et al., 2012). Por otro lado, *Hypopterygium tamarisci* es una planta que crece en bosques secos a húmedos, con mayor frecuencia cerca de arroyos o en hábitats parcial o totalmente sombreados (Kruijer et al., 2010). Este comportamiento también fue observado en este estudio, ya que *Hypopterygium tamarisci* predominó en ambientes donde la vegetación era extensa y con luz reducida, mientras disminuía su presencia en ambientes expuestos a la radiación directa.

El orden Hypnales, de naturaleza polifilética, es uno de los órdenes más diversos dentro de los musgos pleurocárpicos, comprendiendo aproximadamente 4200 especies (Buck et al., 2000; Huttunen et al., 2012). En la ACP se identificaron 13 especies dentro de nueve géneros y seis familias. En este sentido, el orden Hypnales y su familia Sematophyllaceae

fueron los taxa más diversos en el ACP. Estos taxa suelen ser predominantes en estudios de diversidad (Morales 2009; Costa & Peralta, 2015; García-Martínez & Mercado-Gómez, 2017). Este estudio también confirmó la monofilia de Brachytheciaceae, Entodonaceae, Hypnaceae, Myuriaceae y Sematophyllaceae, tal como sugirieron previamente Tsubota et al. (2002), Huttunen & Ignatov (2004), Tan & Ying (2004) y Carvalho-Silva et al. (2017). Sin embargo, la familia *Thuidiaceae*, compuesta de dos clados lejanamente emparentados, se resolvió como parafilética, confirmando lo propuesto por Merget & Wolf (2010). Estas familias en conjunto se caracterizan por ser el grupo con mayor número de especies de musgos registrados en la ACP y en otros estudios de diversidad, están presentes en hábitats asociados a bosques tropicales y bosques húmedos (Hedenas, 2006; Morales, 2009; Costa & Peralta, 2015; García-Martínez & Mercado-Gómez, 2017).

El orden de Leucodontales es parafilético y orden hermano de las Hookeriales (Tsubota et al., 2002). En la ACP, en las Leucodontales se registraron tres familias monofiléticas (Hedwigiaceae, Neckeraceae, Pterobryaceae). Dentro de éstas se identificaron cinco especies (*Rhacocarpus purpurascens*, *Thamnobryum* sp1, *Thamnobryum* sp2, *Pterobryon* sp, *Pterobryopsis orientalis*), las cuales tienen una amplia distribución, especialmente en el Neotrópico (Morales, 2009). En el ACP, estas especies tienen como hábitat diversos sustratos de poca luz, tales como rocas, tierra, bases de troncos de coníferas y árboles de hoja caduca y madera podrida. Esto confirma lo planteado por Ignatova & Ignatov (2011) y Oliveira-Da-Silva & Ilkiu-Borges (2017), que estas especies suelen estar en lugares de poco estrés ambiental (por ejemplo, baja intensidad de luz).

#### **4.1.4. Isobryales**

Dos especies (*Prionodon densus* y *Trachypus* sp.) fueron reportadas en el orden Isobryales. *Prionodon densus* de la familia *Prionodontaceae* es considerada una especie generalmente epífita (Sillett et al., 1995). Esta especie fue encontrada principalmente en las ramas de los árboles del ACP. *Prionodon densus* ha sido reportada al noroeste de Argentina (Schiavone & Biasuso, 2000), confirmando, este estudio, su amplia distribución en el hemisferio sur. Esta especie es polimórfica, sugiriendo una gran plasticidad fenotípica, ya que se adapta a los cambios ambientales del ecosistema (Sillett et al., 1995; Schiavone & Biasuso, 2000). Por otro lado, *Trachypus* sp. perteneciente a la familia *Trachypodaceae* se encuentra emparentada con *T. bicolor*; sin embargo, el

secuenciamiento de otras especies del género *Trachypus* resolverían óptimamente este clado. Las 83 especies descritas de este género se encuentran principalmente distribuidas en Asia y Sudáfrica, mientras que Sudamérica solo tiene el registro de 2 especies en Brasil (TRÓPICOS, 2023). Este estudio amplía la distribución de este género a los bosques húmedos del Perú, siendo *Trachypus* un nuevo género reportado para el Perú.

#### **4.1.5. Polytrichales**

Las especies del orden Polytrichales son típicamente plantas pioneras de hábitats abiertos, a veces incluso de ambientes secos (Huttunen et al., 2018). A pesar del pequeño número de especies, el orden exhibe una gran diversidad de plantas en miniatura con hojas reducidas (Hyvönen et al., 2004). Este orden contiene dos familias Dawsoniaceae y Polytrichaceae (TRÓPICOS, 2023). En la ACP Comunal – Catarata de Gocta se encontró la especie *Polytrichum juniperinum* de la familia Polytrichaceae. Esta especie se encuentra en microhábitats expuestos y perturbados (Lappalainen et al., 2010). En el ACP, fue colectada en áreas donde la presión antrópica (caminos, pastizales para ganado, zona agrícola) era mayor. De Souza et al. (2017) reportó esta especie en Brasil, en lugares de mayor antropización, principalmente por causas de deforestación.

#### **4.1.6. Pottiales**

En este orden se encontraron dos especies pertenecientes a la familia Pottiaceae (*Chionoloma angustatum* y *Didymodon* sp.); a pesar, que esta familia comprende 1457 especies a nivel mundial, especialmente en regiones húmedas de los trópicos donde se reportan 361 especies (da Costa, 2015; TRÓPICOS, 2023). El género *Chionoloma* está compuesta por 22 especies y una variedad (Alonso et al., 2019); mientras que *Didymodon* es uno de los géneros más diversos con 122 especies (Jiménez et al., 2022). Sin embargo, las especies del género *Didymodon* son relativamente resistentes a la sequía, ya que son comúnmente encontradas en regiones secas (Song et al., 2015). Estas especies son consideradas indicadores de cambio climático debido a su estrecha relación con la temperatura y precipitación para un crecimiento óptimo (Kou et al., 2020). Esto podría explicar la baja presencia de especies de *Didymodon* en el ACP, ya que este ambiente corresponde a bosques montanos húmedos (Jiménez et al., 2022).

#### **4.1.7. Sphagnales**

En el orden Sphagnales, se encontraron especies del género *Sphagnum*, la cual es monogénerica para la familia Sphagnaceae (Ruiz Suárez et al., 2006). Las especies del género *Sphagnum* son considerados los ingenieros de ecosistemas más importantes del mundo porque dominan los ecosistemas de turberas cubriendo  $3.5 \times 10^6$  ha y almacenan 455 Pg de carbono, aproximadamente un tercio del carbono del suelo del mundo (Costa & Peralta, 2015). Las 286 especies de *Sphagnum* controlan la hidrología, el ciclo de nutrientes, el secuestro de carbono y la dinámica de sucesión (Rice et al., 2008). Este género es complejo, diverso y de alta variabilidad morfológica (Ospino-Cerpa, 2017). En el ACP, se identificaron tres especies (*Sphagnum subtile*, *Sphagnum papillosum*, *Sphagnum wheeleri*) basados en la amplificación del marcador molecular *rbcL*. La complejidad morfológica de estas especies limita su identificación con herramientas tradicionales (Shaw et al., 2005). La distribución de estas especies principalmente se localizó en los pajonales (2800 -3100 msnm) cerca a los arroyos del ACP, que son las fuentes de agua que alimentan a la Catarata Gocta y a la comunidad campesina de San Pablo. Estas tres especies estarían desempeñando un rol importante en el control hidrológico del lugar, absorbiendo y liberando el agua de sus tejidos en épocas de estiaje (Rocheftort, 2000). Especies de *Sphagnum* son predominantes en ecosistemas de turba, a diferencia del ecosistemas de yungas peruanas tal como el ACP, donde esta familia no es predominante (Costa & Peralta 2015). Es importante recalcar que *Sphagnum wheeleri*, es una de las especies de *Sphagnum* más aisladas del mundo al desarrollarse únicamente en Hawái (Karlin & Andrus, 1995, GBIF 2023). El presente estudio la reporta por primera en el Perú sugiriendo su amplia distribución.

## **4.2. Marchantiophyta (Hepáticas)**

### **4.2.1. Metzgeriales**

En este orden se identificaron 6 especies del género *Metzgeria* y de la familia Metzgeriaceae y una del género *Riccardia* y de la familia Anauraceae. *Metzgeria* son consideradas hepáticas talosas, cosmopolitas y está compuesta de 48 especies en el Neotrópico (Nieva & Schiavone, 2002). En el ACP, se encontró una alta plasticidad morfológica en *Metzgeria liebmanniana*, *Metzgeria limbatosetosa* y otras cuatro especies que no permitió distinguir las anatómicamente. La ausencia de caracteres diagnósticos para diferencias a nivel de especie en el género *Metzgeria* fue previamente planteado por Fuselier et al., (2009). Por ello, el uso de marcadores moleculares para la detección de diferencias genéticas es crucial para entender la diversidad críptica presente en este grupo

(Phephu & Van Rooy, 2013). El uso del marcador *rbcL* permitió distinguir las especies; sin embargo, la generación de secuencias de material tipo es determinante para la delimitación de especies (Fuselier et al., 2009). En este estudio, la familia Metzgeriaceae fue la tercera familia de hepáticas con el mayor número de especies registradas en el ACP.

Por otro lado, la presencia de *Riccardia* sp. sugiere que las Aneuraceae son uno de los taxa menos conocidos y subrepresentados en estudios de diversidad (Preußing et al., 2010). Los miembros de esta familia se caracterizan por los altos niveles de plasticidad morfológica, lo que da lugar a delimitaciones morfológicas de especies cuestionables (Gradstein & Reeb, 2018). A pesar de haber reportado solo una especie de esta familia es necesario hacer expediciones adicionales para reportar la riqueza de especies oculta de este taxa. *Riccardia* sp. muestra una alta divergencia interespecífica (>7%), sugiriendo probablemente que este grupo no ha sido caracterizado previamente con el uso de herramientas moleculares (Rabeau et al., 2017). Esto plantea la urgencia de generar secuencias de material tipo para una correcta caracterización de especies del género *Riccardia*.

#### **4.2.2. Marchantiales**

Este orden comprende 13 familias, una de ellas es la familia Aytoniaceae, la cual incluye 5 géneros (Flores, 2017). En el ACP, se registró *Plagiochasma rupestre*, el cual pertenece a un género compuesto de 30 especies de hepáticas taloides que crecen en zonas xéricas y méxicas de todos los continentes (Cros et al., 2005). En este estudio se reporta por primera vez en el bosque montano tropical. Este taxón crece en rocas expuestas y superficies del suelo (Alam, 2012), lo cual se evidenció en las expediciones desarrolladas. Asimismo, se observó que esta especie se adhiere a las ramas de los árboles, sugiriendo su comportamiento epífita.

#### **4.2.3. Jungermanniales**

Las Jungermanniales incluyen la mayoría de las hepáticas de foliolos terrestres, siendo más diversos y abundantes en la selva tropical (Thiers, 1988). Este orden fue uno de los dos grupos con más especies registradas en el ACP Comunal San Pablo - Catarata de Gocta. Este orden cosmopolita comprende alrededor de 2600 especies circunscritas en 220 géneros (Feldberg et al., 2010). Este estudio reporta 17 especies incluidas en cuatro familias (Herbertaceae, Lepidoziaceae, Plagiochilaceae y Trichocoleaceae). Estas

familias fueron resueltas monofiléticas, excepto por Lepidoziaceae que fue presentada como parafilética (Hentschel et al. 2006).

En el ACP, la familia Herbertaceae estuvo compuesta por dos especies *Herbertus* sp. y *Triandrophyllum subtrifidum*. Cada uno de los géneros *Herbertus* y *Triandrophyllum* no poseen más de 10 especies registradas a nivel mundial (Feldberg & Heinrichs, 2006; Bell et al., 2012; Tropicos 2023). Ambos taxa son considerados de distribución extendida principalmente en bosques tropicales montanos húmedos del hemisferio sur (Feldberg et al., 2004; Feldberg & Heinrichs, 2006; Bell et al., 2012; Fuertes & Prada, 2020). Es importante recalcar que *Triandrophyllum subtrifidum* ha sido reportada en Argentina, Bolivia, Colombia y Ecuador, y este es el primer reporte para el Perú. Esta especie posee un potencial bioindicador elevado por su sensibilidad a niveles elevados de UV (Otero et al., 2008). Esto podría estar correlacionado con los registros variables de UV reportados en la región Amazonas en los últimos años, alcanzando valores del índice UV en el intervalo de 8 -10 (INDES-CES, 2023).

Las Lepidoziaceae son una familia cosmopolita rica en especies de hepáticas frondosas (Cooper, 2013), originadas a principios del Cretácico con el posterior establecimiento de linajes a finales del Cretácico (Cooper et al., 2012). *Dendrobazzania griffithiana*, *Dendrobazzania* sp. y *Lepidozia* sp. fueron especies reportadas en el ACP. Estas especies carecen de caracteres diagnósticos para ser diferenciadas morfológicamente (Gradstein, 2017); por lo que la divergencia genética del marcador *rbcL* fue crucial para diferenciarlas. Las especies de *Bazzania* y *Lepidozia* son principalmente encontradas en lugares de abundante humedad, tales como la ACP Comunal San Pablo - Catarata de Gocta, distribuyéndose desde las tierras bajas hasta las montañas específicamente dentro de los bosques tropicales (Siregar & Pasaribu, 2019).

En el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta se registraron 11 especies de *Plagiochilia* pertenecientes a la familia Plagiochilaceae. Este género es el más grande de hepáticas con 630 especies actualmente aceptadas (Renner et al., 2017). Este género y familia fueron los que poseen el mayor número de especies registradas en el ACP. Otros estudios de diversidad en bosques tropicales han confirmado Plagiochilaceae como una de las más predominantes (Costa & Peralta, 2015; García-Martínez & Mercado-Gómez, 2017). *Plagiochila metcalffii* fue la especie más predominante dentro de este género, a pesar que dicha especie también fue reportada por Pearce et al., (2015) como una especie

que posee un rango de distribución limitado en los ecosistemas de bosques montanos de Australia. Este comportamiento reafirma la gran importancia de la ACP para albergar diversidad única.

En la familia Trichocoleaceae, se reportó únicamente *Trichocolea* sp. para el ACP. Esta es especie hermana de *Trichocolea tomentosa* en base a los análisis filogenéticos del gen *rbcL*. Una de las especies más comunes de reportar en estudios de diversidad en este género es *Trichocolea tomentella*, la cual habita ecosistemas montañosos (Bakalin 2019). Sin embargo, la ausencia de esta especie indicaría diversidad oculta en este género. Expediciones adicionales que permitan la colecta de especies de este género y secuenciamiento de material tipo son cruciales para develar la diversidad de este grupo.

#### **4.2.4. Porellales**

El orden Porellales representa un linaje predominantemente epífita de hepáticas foliares (Heinrichs et al., 2009). En el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta se registraron cuatro familias (Lejeuneaceae, Frullaniaceae, Porellaceae y Radulaceae) en este orden.

La familia Lejeuneaceae es una de las más diversas incluyendo alrededor de 1000 especies circunscritas en 90 géneros, constituyendo un componente importante de la diversidad criptogámica de los trópicos húmedos (Heinrichs et al., 2009). En esta familia se reportaron ocho especies de los géneros *Bryopteris*, *Cheilolejeunea*, *Diplasiolejeunea*, *Frullanoides*, *Lejeunea* y *Lindigianthus* para el ACP; siendo la segunda familia más diversa. La familia Lejeuneaceae es una de las más predominantes en estudios de diversidad (Costa & Peralta, 2015; García-Martínez & Mercado-Gómez 2017; Fuertes & Prada 2020), llegando a representar incluso el 70% de las especies de hepáticas registradas (Guerra-Batista et al., 2020). Los géneros con mayores registros disponible son *Diplasiolejeunea* y *Lejeunea*. La primera es un género pantropical y epífita de hepáticas frondosas llegando hasta los 4000 msnm (Dong et al., 2012). Las especies registradas en el ACP corresponden a *Diplasiolejeunea replicata* y *Dicranolejeunea axillaris* colectadas a los 2300 msnm. Por otro lado, *Lejeunea* es un género de hepáticas subcosmopolita, en gran parte epífita (Heinrichs et al., 2013). Es un género abundante en especies, taxonómicamente complejo y morfológicamente heterogéneo difíciles de diferenciar con técnicas tradicionales (Dong et al., 2013). Sin embargo, en este estudio con el uso del marcador molecular *rbcL* se logró identificar dos especies. Esto confirma la gran utilidad de las herramientas moleculares en estudios de diversidad.



La familia Frullaniaceae es monotípica y compuesta por 300-350 especies alrededor del mundo incluyendo principalmente epífitas (Gradstein & Uribe, 2011; Li et al., 2021). En este estudio se registraron cinco especies de *Frullania* (*Frullania arecae*, *Frullania brasiliensis*, *Frullania cuencensis*, *Frullania moritziana* y *Frullania riojaneirensis*). Este género es el más grande de Porellales y forma un clado importante de hepáticas frondosas (Heinrichs et al., 2010). Este género es cosmopolita y es un componente importante de la vegetación criptogámica en diversos hábitats, especialmente tropicales (Hentschel et al., 2009), tales como el de la ACP.

La familia Porellaceae es cosmopolita e incluye tres géneros: el género *Porella* y los géneros monoespecíficos *Ascidiota* y *Macvicaria* (Hentschel et al., 2007). A pesar que se han registrado 13 especies de *Porella* en América Latina (So, 2005), solamente *Porella crispata* fue reportada en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. Esta especie se ha reportado en ecosistemas de bosques montanos como la Reserva Natural Alarachi, Bolivia (Churchill, 2009) y Parque Universitario Francisco Vivar Castro en Ecuador (Benítez et al., 2021) indicando así a los ecosistemas tropicales como el principal hábitat de esta especie (So, 2005).

La familia Radulaceae es monotípica y compuesta por 200 especies (Bakalin & Klimova, 2020). En el ACP se registró *Radula voluta*. En otros estudios, esta especie ha sido reportada en la Isla Galápagos (Yamada & Gradstein, 1991), centrándose su distribución en Gran Bretaña, este de Estados Unidos, América del Sur y África (Yamada & Gradstein, 1991; Yamada, 2000). La gran amplitud geográfica de esta especie sugiere la gran adaptabilidad a diferentes latitudes.

#### **4.3. Índices de diversidad**

El análisis de los índices de diversidad en este estudio indica que la riqueza de especies de briófitos varía a lo largo de las tres zonas de vida. Teniendo una mayor riqueza el bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT), seguido del bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), y con menos riqueza en el bosque seco premontano tropical (bs-PT). A pesar de ello, todos los valores de los índices reflejaron una alta diversidad de la brioflora presente en el área, siendo la zona de vida bs-MBT y bh-MBT similares en diversidad y diferenciadas de la zona de vida bs-PT. La diferencia entre las dos primeras zonas de vida y la última se debe a que esta última se encuentra más expuesta a la presión antrópica. Ren et al. (2021) mencionaron que el desarrollo de algunas especies está

estrechamente relacionado con la heterogeneidad del hábitat, la cual se incrementa a medida que la intervención antrópica es mayor. Cuando el hábitat es más adecuado y menos intervenido, el número de especies de briofitas y su cobertura aumentan (Pettersson et al., 2021).

Los altos índices de diversidad de briofitos encontrados en la ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta son comparables a los reportados en briofitos de Parque Natural del Monte Kitanglad, Filipinas (Azuelo 2010), a pesar de la limitada área del ACP (~26.3 km<sup>2</sup>). La gran diversidad de briofitos en estos ambientes de Filipinas se encuentra distribuida a lo largo de extensas áreas de bosque (~472.7 km<sup>2</sup>) (Azuelo 2010). Esto es un indicativo de la gran diversidad de comunidades de briofitos en climas tropicales húmedos (Pakeman et al., 2019). Esto resalta la importancia de conservación de hábitats del ACP al albergar gran diversidad y densidad de briofitos (Ren et al., 2021). Entre las especies de mayor predominancia en el ACP se encontró *Boulaya* sp., *Dicranolejeunea axillaris* y *Frullania cuencensis*. La dominancia de estas especies se debe a que son especies cosmopolitas. Por ejemplo, *Dicranolejeunea axillaris* es una de las especies endémica de América tropical distribuida principalmente en los bosques húmedos y andinos entre 1200-2700 msnm (Granstein et al., 1977; Gradstein, 1987; Mizutani, 1982). Asimismo, *Frullania cuencensis* y *Boulaya* sp. tienen una distribución amplia en el Neotrópico de América Central (Costa Rica, México y Panamá), Antillas (República Dominicana) y Sudamérica (Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) (Dos Santos & Da Costa, 2010; Atwood, 2017). A pesar de ser este estudio uno de los primeros estudios en el levantamiento de diversidad de briofitos mediante el uso de herramientas moleculares, es necesario tener un inventario completo a lo largo de la región Amazonas y de otros bosques tropicales del Perú. Esto con la finalidad de revelar toda la gran diversidad oculta de estos organismos de gran importancia ecológica (Song et al., 2015).

## V. CONCLUSIONES

El Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Catarata de Gocta presenta una gran diversidad de especies vegetales por su ubicación estratégica en parte del territorio correspondiente a las Yungas peruanas. En este contexto, el uso de herramientas moleculares como el DNA barcoding fue crucial para resolver la diversidad de especies de briofitos presentes en el ACP. El gen *rbcL* demostró ser un marcador óptimo para la identificación de especies de briofitas, confirmando la presencia de 83 especies, 49 géneros y 32 familia dentro del ACP. Las 83 especies reportadas en este estudio son los primeros registros en el ACP demostrando así la importancia de colectas sistematizadas para la caracterización de la flora briofítica.

Los dos grupos predominantes en el ACP fueron los musgos y hepáticas. Dentro de los musgos (Bryophyta) se registraron 41 especies, 31 géneros y 22 familias, donde predominaron los miembros de las familias Bryaceae y Sematophyllaceae, siendo principalmente epifitas sobre troncos de los árboles. La gran plasticidad morfológica de este grupo de briofitos limitó su identificación con el uso de taxonomía clásica; sin embargo, el uso barcode *rbcL* permitió la identificación de este grupo con elevada variación intraespecífica. Por otra parte, dentro de las hepáticas se reportaron 42 especies, 18 géneros y 11 familias proliferando principalmente en troncos, ramas y rocas. Las especies predominantes fueron de las Plagiochilaceae, Lejeuneaceae y Frullaniaceae. Los especímenes de este grupo fueron los que mejor se resolvieron a nivel de especie, resaltando una vez más la importancia del uso de herramientas moleculares en el levantamiento de diversidad de hepáticas.

El análisis de los índices de diversidad fue fundamental para tener un diagnóstico de la situación ecológica del ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. Los índices revelaron niveles altos de diversidad (2.85 - 3.85 para Shannon y 0.93 - 0.97 para Simpson), a pesar del relativo reducido tamaño del ACP (26 km<sup>2</sup>). Esta zona reservada posee una riqueza de briofitas comparable con áreas mucho más extensas. Por otra parte, estos valores confirman diferentes tipos de diversidad de briofitos entre las tres zonas de vida, debido a que algunas especies de musgos se encuentran en hábitats diferentes. En este sentido, la zona de vida bs-MBT (bosque seco montano bajo tropical) presentó una alta riqueza y diversidad de especies (3.85 para Shannon y 0.97 para Simpson), como consecuencia de hábitats compuesto de una mezcla de árboles altos y suficiente sustrato.

Luego, la riqueza y diversidad de especies fue seguida por zona de vida bh- MBT (bosque húmedo montano bajo tropical) y el bs-PT (bosque seco premontano tropical).

Los resultados de este estudio subrayan la gran importancia del ACP para la conservación de la biodiversidad de briofitas, ya que los hábitats presentes en el ACP brindan los recursos óptimos para albergar la gran diversidad reportada. No obstante, por ser un área de interés turística y agrícola, la brioflora se puede ver sometida a niveles de perturbación principalmente por el cambio del paisaje debido a la intensa actividad turística que se desarrolla diariamente.

Los nuevos reportes de 46 especies de briofitos para el Perú [18 especies de Bryophyta (musgos) y 28 especies de Marchantiophyta (hepáticas)], contribuyen al conocimiento de la brioflora de nuestro país.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ La identificación de briofitas mediante la identificación de caracteres morfológicos es limitada debido a la plasticidad fenotípica de este grupo de plantas. Por ello, el uso de herramientas moleculares como el DNA barcoding para la identificación de especies en el ACP Comunal San Pablo – Catarata de Gocta fue clave. Sin embargo, a pesar de la buena resolución del gen *rbcL*, se recomienda el uso de marcadores moleculares adicionales para resolver aquellos especímenes que fueron identificados sólo a nivel de género.
- ✓ El tiempo de muestreo en este estudio fue relativamente corto y en solo una estación climática (otoño) y, a pesar de ello, la diversidad del área fue significativamente alta. Sin embargo, se recomienda realizar muestreos adicionales abarcando otras estaciones climáticas para evaluar la composición de especies de briofitas en las diferentes temporadas.
- ✓ Es necesario realizar más estudios para caracterizar toda la flora vegetal presente en el Área de Conservación Privada Comunal San Pablo – Catarata de Gocta. Para ello, es fundamental que más investigadores enfoquen sus esfuerzos no solamente en briofitos, sino también, en otros grupos taxonómicos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaigar, J. (2021). *Musgos: liliputienses jugando sus cartas*. Universidad de la Rioja. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=776538>
- Alam, A. (2012). Antifungal activity of *Plagiochasma rupestre* (Forst.) Steph. extracts. *Researcher*, 4(3), 62–64. Recuperado de <http://www.sciencepub.net/researcher>
- Arias, E., Pacheco, V., Cervantes, K., Aguilar, A., & Álvarez, J. (2016). Diversidad y composición de murciélagos en los bosques montanos del Santuario Bats diversity and composition in montane forest of Pampa Hermosa National Sanctuary ., *Revista Peruana de Biología*, 23(2), 103–116. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v23i2.12381>
- Atwood, J. J. (2017). Notes on Two Species of *Frullania* subg. *Chonanthelia* (Frullaniaceae) from the Southwestern United States . *Evansia*, 34(3), 104–109. <https://doi.org/10.1639/0747-9859-34.3.104>
- Azuelo, A. G. (2010). Diversity and Ecological Status of Bryophytes in Mt . Kitanglad , Bukidnon. *Asian Journal of Biodiversity*, 1(1), 49–71. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7828/ajob.v1i1.102>
- Bakalin, V. A. (2019). Liverworts of the Russian Far East: the taxa with ciliate leaves. *Botanica Pacifica*, 8(1), 85–103. <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08109>
- Bakalin, V. A., & Klimova, K. G. (2020). A review of Radulaceae (Marchantiophyta) in the Russian Far East. *Botanica Pacifica*, 9(2), 1–21. <https://doi.org/10.17581/bp.2020.09204>
- Ballejos, J., & Passos Bastos, C. J. (2006). Orthotrichaceae e Rhizogoniaceae (Bryophyta - Bryopsida) do Parque Estadual Das Sete Passagens, Bahia, Brasil. *Revista Do Jardim Botânico Do Rio Do Janeiro*, 60(4), 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/2175-7860200960402>
- Ballesteros, I., Terán, P., Guamán, C., González, N., Cruz, A., & Castillejo, P. (2021). DNA barcoding approach to characterize microalgae isolated from freshwater systems in Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 170–183. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1920296>
- Bell, D., Long, D. G., Forrest, A. D., Hollingsworth, M. L., Blom, H. H., &

- Hollingsworth, P. M. (2012). DNA barcoding of European *Herbertus* (Marchantiopsida, Herbertaceae) and the discovery and description of a new species. *Molecular Ecology Resources*, 12(1), 36–47.  
<https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2011.03053.x>
- Benítez, Á., Cruz, D., Vega, M., González, L., Jaramillo, N., López, F., & Aguirre, Z. (2021). Briófitos y hongos (liquenizados y no liquenizados) del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(2), 1–18. <https://doi.org/10.54753/blc.v11i2.1102>
- Buck, W. R., Cox, C. J., Shaw, A. J., & Goffinet, B. (2004). Ordinal relationships of pleurocarpous mosses, with special emphasis on the hookeriales. *Systematics and Biodiversity*, 2(2), 121–145. <https://doi.org/10.1017/S1477200004001410>
- Buck, W. R., & Goffinet, B. (2012). Morphology and classification of mosses. In *Bryophyte Biology* (Issue Frey 1981, pp. 71–123). <https://doi.org/10.1017/cbo9781139171304.004>
- Carvalho-Silva, M., Stech, M., Soares-Silva, L. H., Buck, W. R., Wickett, N. J., Liu, Y., & Câmara, P. E. A. S. (2017). A molecular phylogeny of the sematophyllaceae s.l. (Hypnales) based on plastid, mitochondrial and nuclear markers, and its taxonomic implications. *Taxon*, 66(4), 811–831. <https://doi.org/10.12705/664.2>
- Centre for Biodiversity Genomics, & University of Guelph. (2021). *The Global Taxonomy Initiative 2020: A step-by-step Guide for DNA Barcoding*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-94-en.pdf>
- Cervera, L., Cruz, J., Torres, O., Rodriguez, E., & Reátegui, E. (2020). Plantas vasculares de las cabeceras de las cataratas Gocta , Chinata y Yumbilla , región Amazonas , Perú Vascular plants of the headwaters of the Gocta , Chinata and Yumbilla waterfalls , Amazon region , Peru. *Arnaldoa*, 27(2), 459–496.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.272.27204>
- Chandra, S., Chandra, D., Barh, A., Pankaj, Kumar, R., & Prakash, I. (2017). Bryophytes : Hoard of remedies , an ethno-medicinal review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(1), 94–98.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.01.007>

- Chang, Y. (2011). *Molecular phylogenetics of mosses and relatives* [The university of British Columbia]. Recuperado de <https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/24/1.0072202/1>
- Churchill, S. P. (2009). Bryophytes of Alarachi Natural Reserve , Department of Tarija , Bolivia. *Tropical Bryology*, 30, 85–91. [https://www.tropicos.org/docs/boliviamoss/Alarachi Bryophytes.pdf](https://www.tropicos.org/docs/boliviamoss/Alarachi%20Bryophytes.pdf)
- Cooper, E. D. (2013). Notes on early land plants today. 37. Towards a stable, informative classification of the Lepidoziaceae (Marchantiophyta). *Phytotaxa*, 97(2), 44–51. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.97.2.4>
- Cooper, E. D., Henwood, M. J., & Brown, E. A. (2012). Are the liverworts really that old? Cretaceous origins and Cenozoic diversifications in Lepidoziaceae reflect a recurrent theme in liverwort evolution. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107(2), 425–441. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2012.01946.x>
- Costa, D. P., & Peralta, D. F. (2015). Bryophytes diversity in Brazil. *Rodriguesia*, 66(4), 1063–1071. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566409>
- Cros, R. M., Sáez, L., & Rosselló, J. A. (2005). *Plagiochasma appendiculatum* Lehm. & Lindenb. (Marchantiales, Aytoniaceae), a species new to the European bryophyte flora. *Journal of Bryology*, 27(1), 3–6. <https://doi.org/10.1179/174328205X40527>
- da Costa, D. P. (2015). Diversity and conservation of Pottiaceae (Pottiales) in the Atlantic Rainforest. *Acta Botanica Brasílica*, 29(3), 354–374. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0012>
- Da Costa, D. P., & Lima, F. M. (2005). Moss diversity in the tropical rainforests of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 28(4), 671–685. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042005000400003>
- De Souza, A. M., De Brito Valente, E., Peralta, D. F., & Gusmão, L. F. P. (2017). Biodiversity survey, ecology and new distribution records of Marchantiophyta in a remnant of Brazilian Atlantic Forest. *Iheringia - Serie Botanica*, 72(1), 133–141. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201772112>
- Dong, S., Schäfer-Verwimp, A., Meinecke, P., Feldberg, K., Bombosch, A., Pócs, T., Schmidt, A. R., Reitner, J., Schneider, H., & Heinrichs, J. (2012). Tramps, narrow



- endemics and morphologically cryptic species in the epiphyllous liverwort *Diplasiolejeunea*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 65(2), 582–594.  
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.07.009>
- Dong, S., Schäfer-Verwimp, A., Pócs, T., Feldberg, K., Czumaj, A., Schmidt, A. R., Schneider, H., & Heinrichs, J. (2013). Size doesn't matter-recircumscription of *Microlejeunea* (Lejeuneaceae, Porellales) based on molecular and morphological evidence. *Phytotaxa*, 85(2), 41–55. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.85.2.2>
- Dos Santos, N. D., & Da Costa, D. P. (2010). Phytogeography of the liverwort flora of the Atlantic Forest of southeastern Brazil. *Journal of Bryology*, 32(1), 9–22.  
<https://doi.org/10.1179/037366810X12578498135634>
- Edgar, R. C. (2004). MUSCLE : multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic Acids Research*, 32(5), 1792–1797.  
<https://doi.org/10.1093/nar/gkh340>
- Edler, D., Klein, J., Antonelli, A., & Silviestro, D. (2019). raxmlGUI 2 . 0 beta : a graphical interface and toolkit for phylogenetic analyses using RAxML. *BioRxiv*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.1101/800912>
- Edler, D., Klein, J., & Silvestro, D. (2021). raxmlGUI 2 . 0 : A graphical interface and toolkit for phylogenetic analyses using RAxML. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(2), 373–377. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13512>
- Erzberger, P., & Schröder, W. (2013). The Genus *Bryum* ( Bryaceae , Musci ) in Hungary. *Studia Botanica Hungarica*, 44, 5–192.  
[http://publication.nhmus.hu/pdf/Studia/StudiaBotHung\\_2013\\_Vol\\_44\\_005.pdf](http://publication.nhmus.hu/pdf/Studia/StudiaBotHung_2013_Vol_44_005.pdf)
- Eugenie, M., Dacaens, T., Lapied, E., Dupont, L., Roy, V., Schimann, H., Orivel, J., Murienne, J., Baroloto, C., Cottenie, K., & Steinke, D. (2021). At each site its diversity : DNA barcoding reveals remarkable earthworm diversity in neotropical rainforests of French Guiana. *Applied Soil Ecology*, 164, 103932.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103932>
- Feldberg, K., Groth, H., Wilson, R., Schäfer-Verwimp, A., & Heinrichs, J. (2004). Cryptic speciation in *Herbertus* (Herbertaceae, Jungermanniopsida): Range and morphology of *Herbertus sendtneri* inferred from nrITS sequences. *Plant Systematics and Evolution*, 249(3–4), 247–261. <https://doi.org/10.1007/s00606-91>

- Feldberg, K., & Heinrichs, J. (2006). A taxonomic revision of *Herbertus* (Jungermanniidae: Herbertaceae) in the Neotropics based on nuclear and chloroplast DNA and morphology. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 151(3), 309–332. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00534.x>
- Feldberg, K., Váňa, J., Long, D. G., Shaw, A. J., Hentschel, J., & Heinrichs, J. (2010). A phylogeny of Adelanthaceae (Jungermanniales, Marchantiophyta) based on nuclear and chloroplast DNA markers, with comments on classification, cryptic speciation and biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 55(1), 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.11.009>
- Fuertes, E., & Prada, C. (2020). Aportaciones a la brioflora neotropical de la Argentina: Hepáticas foliosas (Jungermanniidae, Marchantiophyta). *Botanica Complutensis*, 44, 61–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.5209/BOCM.71646>
- Fuselier, L., Davison, P. G., Clements, M., Shaw, B., Devos, N., Heinrichs, J., Hentschel, J., Sabovljevic, M., Szövényi, P., Schuette, S., Hofbauer, W., & Shaw, A. J. (2009). Phylogeographic analyses reveal distinct lineages of the liverworts *Metzgeria furcata* (L.) Dumort. and *Metzgeria conjugata* Lindb. (Metzgeriaceae) in Europe and North America. *Biological Journal of the Linnean Society*, 98(4), 745–756. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01319.x>
- García-Martínez, S., & Mercado-Gómez, J. D. (2017). Diversidad de briófitos en fragmentos de bosque seco tropical, Montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 824–831. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.035>
- García, F. (2016). *Amazonas y su biodiversidad* (1.<sup>a</sup> ed.). [https://www.untrm.edu.pe/resoluciones/PubDigUntrm/Amazonas y su Biodiversidad.pdf](https://www.untrm.edu.pe/resoluciones/PubDigUntrm/Amazonas%20y%20su%20Biodiversidad.pdf)
- Goodstadt, L., & Ponting, C. (2001). CHROMA: Consensus-based colouring of multiple alignments for publication. *Bioinformatics Applications Note*, 12(9), 845–847. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/17.9.845>
- Gradstein, R., & Uribe-M, J. (2011). Sinopsis de la familia frullaniaceae (Marchantiophyta) para Colombia. *Caldasia*, 33(2), 367–396.

- Gradstein, S. R. (1987). The Ptychanthoideae of Latin America: An Overview (Studies on Lejeuneaceae Subfamily Ptychanthoideae XVI). *The Bryologist*, 90(4), 337. <https://doi.org/10.2307/3243095>
- Gradstein, S. R. (2017). *Bazzania* (Marchantiophyta) in South America. *Nova Hedwigia*, 8, 1–25. <https://doi.org/10.1127/nova>
- Gradstein, S. R., & Reeb, C. (2018). The Genus *Riccardia* (Aneuraceae) in Colombia and Ecuador. *Cryptogamie, Bryologie*, 39(4), 515–540. <https://doi.org/10.7872/cryb/v39.iss4.2018.515>
- Grant, D., Brodnicke, O., Evankow, A., Ferreira, A., Fontes, J., Kappel, A., Reinholdt, M., Ergul, T., Leeper, A., Kiran, S., Prati, S., Reunamo, A., Roberts, A., Shigdel, R., Tyukosova, V., Bendiksby, M., Blaalid, R., Costa, F., Hollingsworth, P., ... Ekrem, T. (2021). The Future of DNA Barcoding : Reflections from Early Career Researchers. *Diveristy*, 13(7), 313. <https://doi.org/10.3390/ d13070313>
- Grundmann, M., Schneider, H., Russell, S., & Vogel, J. C. (2006). Phylogenetic relationships of the moss genus *Pleurochaete* Lindb . ( Bryales : Pottiaceae ) based on chloroplast and nuclear genomic markers. *Organisms, Diversity & Evolution*, 6(1), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2005.04.005>
- Guerra-Batista, N., Arrocha, C., Rodríguez-Quiel, E., & Benítez, Á. B. (2020). Diversidad y distribución de briófitos epífilos en *Beilschmiedia costaricensis* (Mez & Pittier) C.K.Allen (Lauraceae). *Colombia Forestal*, 23(2), 47–58.
- Gupta, R., Nath, V., & Asthana, A. K. (2016). Genus *Brachymenium* Schwägr.(Bryophyta) at Pachmarhi Wildlife Sanctuary (Madhya Pradesh), India. *Tropical Plant Research*, 3(2), 283–288. <https://www.tropicalplantresearch.com/archives/2016/vol3issue2/5.pdf>
- Hedenas, L. (2006). Global Diversity Patterns among Pleurocarpous Mosses. *Academy of Management Review*, 31(2), 386–408.
- Heinrichs, J., Dong, S., Schäfer-Verwimp, A., Pócs, T., Feldberg, K., Czumaj, A., Schmidt, A. R., Reitner, J., Renner, M. A. M., Hentschel, J., Stech, M., & Schneider, H. (2013). Molecular phylogeny of the leafy liverwort *Lejeunea* (Porellales): Evidence for a neotropical origin, uneven distribution of sexual systems and insufficient taxonomy. *PLoS ONE*, 8(12), e82547.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082547>

Heinrichs, J., Hentschel, J., Bombosch, A., Fiebig, A., Reise, J., Edelmann, M., Kreier, H. P., Schäfer-Verwimp, A., Caspari, S., Schmidt, A. R., Zhu, R. L., von Konrat, M., Shaw, B., & Shaw, A. J. (2010). One species or at least eight? Delimitation and distribution of *Frullania tamarisci* (L.) Dumort. s. l. (Jungermanniopsida, Porellales) inferred from nuclear and chloroplast DNA markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *56*(3), 1105–1114.

<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.05.004>

Heinrichs, J., Klugmann, F., Hentschel, J., & Schneider, H. (2009). DNA taxonomy, cryptic speciation and diversification of the Neotropical-African liverwort, *Marchesinia brachiata* (Lejeuneaceae, Porellales). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *53*(1), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.05.032>

Hentschel, J., von Konrat, M. J., Pócs, T., Schäfer-Verwimp, A., Jonathan Shaw, A., Schneider, H., & Heinrichs, J. (2009). Molecular insights into the phylogeny and subgeneric classification of *Frullania Raddi* (Frullaniaceae, Porellales). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *52*(1), 142–156.

<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.12.021>

Hentschel, J., Wilson, R., Burghardt, M., Zündorf, H. J., Schneider, H., & Heinrichs, J. (2006). Reinstatement of Lophocoleaceae (Jungermanniopsida) based on chloroplast gene *rbcL* data: Exploring the importance of female involucre for the systematics of Jungermanniales. *Plant Systematics and Evolution*, *258*(3–4), 211–226. <https://doi.org/10.1007/s00606-006-0408-y>

Hentschel, J., Zhu, R. L., Long, D. G., Davison, P. G., Schneider, H., Gradstein, S. R., & Heinrichs, J. (2007). A phylogeny of *Porella* (Porellaceae, Jungermanniopsida) based on nuclear and chloroplast DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *45*(2), 693–705. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.05.005>

Ho, B. C., Pokorny, L., Tan, B. C., Frahm, J. P., Shaw, A. J., & Quandt, D. (2012). Molecular evolution and diversification of the moss family Daltoniaceae (Hookeriales, Bryophyta) with emphasis on the unravelling of the phylogeny of *Distichophyllum* and its allies. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *170*(2), 157–175. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01279.x>

- Hofbauer, W. K., Forrest, L. L., Hollingsworth, P. M., & Hart, M. L. (2016). Preliminary insights from DNA barcoding into the diversity of mosses colonising modern building surfaces. *Bryophyte Diversity & Evolution*, *38*(1), 1–22. <https://doi.org/10.11646/bde.38.1.1>
- Huttunen, S., Bell, N., Bobrova, V. K., Buchbender, V., Buck, W. R., Cox, C. J., Goffinet, B., Hedenäs, L., Ho, B. C., Ignatov, M. S., Krug, M., Kuznetsova, O., Milyutina, I. A., Newton, A., Olsson, S., Pokorny, L., Shaw, J. A., Stech, M., Troitsky, A., ... Quandt, D. (2012). Disentangling knots of rapid evolution: Origin and diversification of the moss order Hypnales. *Journal of Bryology*, *34*(3), 187–211. <https://doi.org/10.1179/1743282012Y.0000000013>
- Huttunen, S., Bell, N., & Hedenäs, L. (2018). The Evolutionary Diversity of Mosses—Taxonomic Heterogeneity and its Ecological Drivers. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *37*(2–3), 128–174. <https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1482434>
- Huttunen, S., & Ignatov, M. S. (2004). Phylogeny of the Brachytheciaceae (Bryophyta) based on morphology and sequence level data. *Cladistics*, *20*(2), 151–183. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2004.00022.x>
- Hyvönen, J., Koskinen, S., Smith Merrill, G. L., Hedderson, T. A., & Stenroos, S. (2004). Phylogeny of the Polytrichales (Bryophyta) based on simultaneous analysis of molecular and morphological data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *31*(3), 915–928. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2003.11.003>
- Ignatova, E. A., & Ignatov, M. S. (2011). The genus *Thamnobryum* (Neckeraceae, Musci) in Russia. *Arctoa*, *20*(1), 137–151. <https://doi.org/10.15298/arctoa.20.10>
- Jiang, K., Zhang, R., Zhang, Z., Pan, B., & Tian, B. (2020). Plant Diversity DNA barcoding and molecular phylogeny of *Dumasia* (Fabaceae : Phaseoleae) reveals a cryptic lineage. *Plant Diversity*, *42*(5), 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.07.007>
- Jiménez, J. A., Cano, M. J., & Guerra, J. (2022). A multilocus phylogeny of the moss genus *Didymodon* and allied genera (Pottiaceae): Generic delimitations and their implications for systematics. *Journal of Systematics and Evolution*, *60*(2), 281–304. <https://doi.org/10.1111/jse.12735>
- Jimenez, M. S., Suárez, G. M., & Schiavone, M. M. (2014). Fruiting material of

- Philonotis esquenlensis (Bartramiaceae, Bryophyta) discovered in Chile. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 49(4), 463–471.  
<https://doi.org/http://www.scielo.org.ar/pdf/bsab/v49n4/v49n4a04.pdf>
- Karlin, E. F., & Andrus, R. E. (1995). The Sphagna of Hawaii. *Bryologist*, 98(2), 235–238. <https://doi.org/10.2307/3243308>
- Kou, J., Wang, T., Yu, F., Sun, Y., Feng, C., & Shao, X. (2020). The moss genus *Didymodon* as an indicator of climate change on the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 113(August 2019), 106204.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106204>
- Kruijer, H. J. D., Raes, N., & Stech, M. (2010). Modelling the distribution of the moss species *Hypopterygium tamarisci* (Hypopterygiaceae, Bryophyta) in Central and South America. *Nova Hedwigia*, 91(3–4), 399–420. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2010/0091-0399>
- Kumar, A., Bhardwaj, R., Kumar, V., & Sharma, A. (2019). New indices regarding the dominance and diversity of communities , derived from sample variance and standard deviation. *Heliyon*, 5(10), e02606.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02606>
- Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7 : Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7 . 0 for Bigger Datasets Brief communication. *Molecular Biology and Evolution*, 33(7), 1870–1874.  
<https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>
- La Farge, C., Shaw, A. J., & Vitt, D. H. (2002). The circumscription of the Dicranaceae (Bryopsida) based on the chloroplast regions trnL - trnF and rps4. *Systematic Botany*, 27(3), 435–452.
- Lanfear, R. (2016). *PartitionFinder2 Manual*. Recuperado de [http://www.robertlanfear.com/partitionfinder/assets/Manual\\_v2.1.x.pdf](http://www.robertlanfear.com/partitionfinder/assets/Manual_v2.1.x.pdf)
- Lanfear, R., Frandsen, P. B., Wright, A. M., Senfeld, T., & Calcott, B. (2016). PartitionFinder 2 : New Methods for Selecting Partitioned Models of Evolution for Molecular and Morphological Phylogenetic Analyses. *Molecular Biology and Evolution*, 34(3), 10–11. <https://doi.org/10.1093/molbev/msw260>

- Lang, A., Bocksberger, G., & Stech, M. (2015). Molecular Phylogenetics and Evolution Phylogeny and species delimitations in European Dicranum ( Dicranaceae , Bryophyta ) inferred from nuclear and plastid DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 92, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2015.06.019>
- Lang, A., Kruijjer, J., & Stech, M. (2014). DNA barcoding of Arctic bryophytes : an example from the moss genus Dicranum ( Dicranaceae , Bryophyta ). *Polar Biol*, 37(8), 1157–1169. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1509-7>
- Lang, A. S., Bocksberger, G., & Stech, M. (2015). Phylogeny and species delimitations in European Dicranum (Dicranaceae, Bryophyta) inferred from nuclear and plastid DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 92, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2015.06.019>
- Lang, A., & Stech, M. (2014). What ' s in a Name ? Disentangling the Dicranum scoparium Species Complex. *Systematic Botany*, 39(2), 369–379. <https://doi.org/10.1600/036364414X680735>
- Lappalainen, N. M., Huttunen, S., Suokanerva, H., & Lakkala, K. (2010). Seasonal acclimation of the moss Polytrichum juniperinum Hedw. to natural and enhanced ultraviolet radiation. *Environmental Pollution*, 158(3), 891–900. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.09.017>
- Larraín, J., & Bahamonde, N. (2017). Los briofitos en la estancia cerro Paine, parque nacional Torres del Paine, Magallanes, Chile. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 52(1), 27–38. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-23722017000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722017000100003&lng=es&tlng=es).
- Linde, A., Eklund, D. M., Cronberg, N., Bowman, J. L., & Lagercrantz, U. (2021). Molecular Phylogenetics and Evolution Rates and patterns of molecular evolution in bryophyte genomes , with focus on complex thalloid liverworts , Marchantiopsida. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 165(2), 107295. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107295>
- Liu, Y., Cao, T., & Ge, X. (2014). A case study of DNA barcoding in Chinese Grimmiaceae and a moss recorded in China for the first time. *Taxon*, 60(1), 185–193. <https://doi.org/10.1002/tax.601016>

- Liu, Y., Yan, H., Cao, T., & Ge, X. (2010). Evaluation of 10 plant barcodes in Bryophyta ( Mosses ). *Journal of Systematics and Evolution*, 48(1), 36–46. <https://doi.org/10.1111/j.1759-6831.2009.00063.x>
- Martín Suárez, G., Soledad Jiménez, M., & Rafael Flores, J. (2017). The genus *Bartramia* Hedw . ( Bartramiaceae , Bryophyta ) in Uruguay. *Gayana Bot*, 74(1), 221–225. <https://www.redalyc.org/pdf/574/57405009.pdf>
- Martínez-O, M. F., Díaz-Pérez, C. N., & Morales-Puentes, M. E. (2019). Los mugs en el complejo de páramos guantiva-la rusia en los departamentos de Boyacá y Santander, Colombia. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 23(1), 15–30. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.1>
- Merget, B., & Wolf, M. (2010). A molecular phylogeny of Hypnales (Bryophyta) inferred from ITS2 sequence-structure data. *BMC Research Notes*, 3, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-3-320>
- MINAM. (2019). *Resolucion Ministerial N° 115-2019-MINAM*. MINAM. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/274525-115-2019-minam>
- MINAM. (2021). *Mapa de áreas naturales protegidas de administración nacional, regional y privada departamento Amazonas*. Recuperado de [https://geoportal.sernanp.gob.pe/wp-content/uploads/2021/01/ANP\\_ACR\\_ACP-Dpto-Amazonas.pdf](https://geoportal.sernanp.gob.pe/wp-content/uploads/2021/01/ANP_ACR_ACP-Dpto-Amazonas.pdf)
- MINCETUR. (2020). *Amazonas Reporte Regional de Turismo Año 2020*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mincetur/informes-publicaciones/1212807-reportes-de-turismo-reporte-regional-de-turismo-amazonas-2020>
- Morales, T. (2009). Musgos (Bryophyta) del parque Nacional Ávila, sectores Cerro El Ávila - Lagunazo, Venezuela. *Caldasia*, 31(2), 251–267. [https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-52322009000200005](https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322009000200005)
- Naturaleza y cultura internacional. (2020). *Guia de campo: Flora y fauna del área clave para la biodiversidad río utcubamba* (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://natureandculture.org/wp-content/uploads/2021/01/GUIA-FLORA-Y-FAUNA-DEL-ACB-RIO-UTCUBAMBA.pdf>



- Nieva, M. M., & Schiavone, M. M. (2002). El género *Metzgeria* (Metzgeriales-Hepatophyta) en los bosques montanos del Noroeste de Argentina. *Bryophyte Diversity and Evolution*, 21(1), 123–133. <https://doi.org/10.11646/bde.21.1.16>
- Oliveira-Da-Silva, F. R., & Ilkiu-Borges, A. L. (2017). Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Pterobryaceae. *Rodriguesia*, 68(3), 827–828. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768308>
- ORNEN. (1976). *Mapa Ecológico del Perú* (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1052>
- Ospino Cerpa, J. D. (2017). *Las especies de Sphagnum L. (Sphagnaceae: Bryophyta) en la sierra nevada de Santa Marta, Colombia* [Universidad de Magdalena]. Recuperado de <https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/379a4d76-509d-40da-a22e-f7468406b521>
- Otero, S., Cezón, K., Martínez-Abaigar, J., & Núñez-Olivera, E. (2008). Ultraviolet-absorbing capacity of aquatic bryophytes from Tierra del Fuego (Argentina). *Journal of Bryology*, 30(4), 290–296. <https://doi.org/10.1179/174328208X300741>
- Pakeman, R. J., Brooker, R. W., O'Brien, D., & Genney, D. (2019). Using species records and ecological attributes of bryophytes to develop an ecosystem health indicator. *Ecological Indicators*, 104, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.084>
- Pavoine, S., & Ricotta, C. (2019). A simple translation from indices of species diversity to indices of phylogenetic diversity. *Ecological Indicators*, 101, 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.052>
- Pearce, E., Schmidt, S., Franks, A. J., & Shoo, L. P. (2015). Species turnover of corticolous bryophyte assemblages over 15 years in an Australian subtropical cloud forest. *Austral Ecology*, 40(8), 877–885. <https://doi.org/10.1111/aec.12268>
- Pedersen, N., Cox, C. J., & Hedenäs, L. (2003). Phylogeny of the moss family Bryaceae inferred from chloroplast DNA sequences and morphology. *Systematic Botany*, 28(3), 471–482.
- Perrin, P., & Waldren, S. (2020). Vegetation richness and rarity in habitats of European conservation value in Ireland. *Ecological Indicators*, 117, 106387.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106387>

Petersson, L., Nilsson, S., Holmstrom, E., Lindbladh, M., & Felton, A. (2021). Forest floor bryophyte and lichen diversity in Scots pine and Norway spruce production forests. *Forest Ecology and Management*, 493, 119210.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119210>

Phephu, N., & Van Rooy, J. (2013). Studies in the liverwort family metzgeriaceae (metzgeriales) from southern Africa. 1. Metzgeria Nudifrons stephani and a key to the species. *Polish Botanical Journal*, 58(2), 449–455. <https://doi.org/10.2478/pbj-2013-0045>

Pichonet, A., & Gradstein, S. R. (2012). Male dwarfism in the genus dicranum (dicranaceae) - A review. *Cryptogamie, Bryologie*, 33(3), 299–311.

<https://doi.org/10.7872/cryb.v33.iss3.2012.299>

Pokorny, L., Ho, B. C., Frahm, J. P., Quandt, D., & Shaw, A. J. (2012). Phylogenetic analyses of morphological evolution in the gametophyte and sporophyte generations of the moss order Hookeriales (Bryopsida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63(2), 351–364. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.01.005>

Preußing, M., Olsson, S., Schäfer-Verwimp, A., Wickett, N. J., Wicke, S., Quandt, D., & Nebel, M. (2010). New insights in the evolution of the liverwort family aneuraceae (Metzgeriales, Marchantiophyta), with emphasis on the genus Lobatiriccardia. *Taxon*, 59(5), 1424–1440. <https://doi.org/10.1002/tax.595009>

Rabeau, L., Gradstein, S. R., Dubuisson, J. Y., Nebel, M., Quandt, D., & Reeb, C. (2017). New insights into the phylogeny and relationships within the worldwide genus Riccardia (Aneuraceae, Marchantiophytina). *European Journal of Taxonomy*, 2017(273), 1–26. <https://doi.org/10.5852/ejt.2017.273>

Rafael Flores, J. (2017). *Análisis Filogenético De La Subclase Marchantiidae (Marchantiophyta): Clarificando La Relación Entre Órdenes Y Familias* [Universidad Nacional de Tucumán]. Recuperado de [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84514/CONICET\\_Digital\\_Nro.01169fef-0fbd-4496-aec4-36535fa9404c\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84514/CONICET_Digital_Nro.01169fef-0fbd-4496-aec4-36535fa9404c_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Rehman, W., Gupta, K., & Bast, F. (2021). Morphophylogenetic assessment of a new moss species *Bryum bhartiense* sp. nov. (Bryaceae) from Larsemann Hills,

- Eastern Antarctica. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 14(3), 283–289.  
<https://doi.org/10.1016/j.japb.2021.07.001>
- Ren, H., Wang, F., Ye, W., Zhang, Q., Han, T., Huang, Y., Guowei, C., Hui, D., & Guo, Q. (2021). Bryophyte diversity is related to vascular plant diversity and microhabitat under disturbance in karst caves. *Ecological Indicators*, 120, 106947.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106947>
- Renner, M. A. M., Heslewood, M. M., Patzak, S. D. F., Schäfer-Verwimp, A., & Heinrichs, J. (2017). By how much do we underestimate species diversity of liverworts using morphological evidence? An example from Australasian Plagiochila (Plagiochilaceae: Jungermanniopsida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 107, 576–593. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.018>
- Rice, S. K., Aclander, L., & Hanson, D. T. (2008). Do bryophyte shoot systems function like vascular plant leaves or canopies? Functional trait relationships in Sphagnum mosses (Sphagnaceae). *American Journal of Botany*, 95(11), 1366–1374.  
<https://doi.org/10.3732/ajb.0800019>
- Rocheftort, L. (2000). New frontiers in bryology and lichenology: Sphagnum - A keystone genus in habitat restoration. *Bryologist*, 103(3), 503–508.  
[https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2000\)103\[0503:sakgih\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2000)103[0503:sakgih]2.0.co;2)
- Ruiz Suárez, E. J., Linares C., E. L., & Morales Puentes, M. E. (2006). Sphagnum (Sphagnaceae) en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(114), 31–45.
- Schiavone, M. M., & Biasuso, A. B. (2000). Prionodon densus (Hedw.) C. Muell. (Musci) en el noroeste argentino y su diversidad fenotípica en el Neotrópico. *Lilloa*, 40(1), 93–101.  
<https://www.lillo.org.ar/journals/index.php/lilloa/article/view/1295/1329>
- Shaw, A. J., Cox, C. J., & Boles, S. B. (2005). Phylogeny, species delimitation, and recombination in Sphagnum section Acutifolia. *Systematic Botany*, 30(1), 16–33.  
<https://doi.org/10.1600/0363644053661823>
- Sillett, S. C., Gradstein, S. R., & Griffin, D. I. I. (1995). Bryophyte diversity of Ficus tree crowns from cloud forest and pasture in Costa Rica. *Bryologist*, 98(2), 251–260. <https://doi.org/10.2307/3243312>

- Siregar, E. S., & Pasaribu, N. (2019). Lepidoziaceae (Marchantiophyta) in Taman Eden 100 Natural Park, North Sumatra Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 305(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/305/1/012013>
- Slipiko, M., Myszczyński, K., Buczkowska, K., Baczkiewicz, A., Szczecińska, M., & Sawicki, J. (2020). Molecular delimitation of European leafy liverworts of the genus *Calypogeia* based on plastid super-barcodes. *BMC Plant Biology*, 20, 243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-020-02435-y>
- So, M. L. (2005). *Porella* (Porellaceae, Marchantiophyta) in Latin America. *New Zealand Journal of Botany*, 43(1), 301–321. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2005.9512956>
- Song, S., Liu, X., Bai, X., Jiang, Y., Zhang, X., Yu, C., & Shao, X. (2015). Impacts of environmental heterogeneity on moss diversity and distribution of didymodon (Pottiaceae) in Tibet, China. *PLoS ONE*, 10(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132346>
- Tan, B. C., & Ying, C. (2004). Molecular contribution to the systematic position of *Mastopoma scabrifolium* (Broth. in Moell.) B.C. Tan & Tran Ninh (Sematophyllaceae, Bryopsida). *Cryptogamie, Bryologie*, 25(4), 301–308.
- Thiers, B. M. (1988). Morphological adaptations of the Jungermanniales (Hepaticae) to the tropical rainforest habitat. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 64(64), 237–269.
- Tsubota, H., Arikawa, T., Akiyama, H., De Luna, E., Gonzales, D., Higuchi, M., & Deguchi, H. (2002). Molecular phylogeny of hypnobryalean mosses as inferred from a large-scale dataset of chloroplast *rbcL*, with special reference to the Hypnaceae and possibly related families. *Hikobia*, 13(4), 645–665. [http://www.digital-museum.hiroshima-u.ac.jp/~main/images/5/58/Tsubota\\_et\\_al\\_2002\\_Hikobia\\_13\\_645to665\\_Hypnales\\_S\\_OCR.pdf](http://www.digital-museum.hiroshima-u.ac.jp/~main/images/5/58/Tsubota_et_al_2002_Hikobia_13_645to665_Hypnales_S_OCR.pdf)
- Valle, I., & Astorkiza, K. (2018). Exploring cross correlation among diversity indices. *Fisheries Research*, 204, 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.02.008>
- Virtanen, V. (2000). *Taxonomic studies of the Bartramiaceae, Bryopsida* (31st ed.).

University of Helsinki.

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/ab5a7fe7-7233-4249-87b5-8b34a428f688/content>

- Virtanen, V. (2003). Phylogeny of the Bartramiaceae (Bryopsida) Based on Morphology and on rbcL, rps4, and trnL-trnF Sequence Data. *Bryologist*, 106(2), 280–296. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2003\)106\[0280:POTBBB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2003)106[0280:POTBBB]2.0.CO;2)
- Wahrmund, U., Rein, T., Muller, K., Groth-Malonek, M., & Knoop, V. (2009). Fifty mosses on five trees : comparing phylogenetic information in three types of non-coding mitochondrial DNA and two. *Plant Systematics and Evolution*, 282, 241–255. <https://doi.org/10.1007/s00606-008-0043-x>
- Weigand, H., Beermann, A. J., Čiampor, F., Costa, F. O., Csabai, Z., Duarte, S., Geiger, M. F., Grabowski, M., Rimet, F., Rulik, B., Strand, M., Szucsich, N., Weigand, A. M., Willassen, E., Wyler, S. A., Bouchez, A., Borja, A., Zařovičová, Z., Ferreira, S., ... Ekrem, T. (2019). DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe : Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of the Total Environment Journal*, 678, 499–524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.247>
- Welch, W. H. (2015). The Hookeriaceae of Mexico. *American Bryological and Lichenological Society*, 69(1), 1–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3240485>
- Wierzcholska, S., Dyderski, M., & Jagodzinski, A. (2020). Potential distribution of an epiphytic bryophyte depends on climate and forest continuity. *Global and Planetary Change*, 193, 103270. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103270>
- Wolski, G., & Kruk, A. (2020). Determination of plant communities based on bryophytes : The combined use of Kohonen artificial neural network and indicator species analysis. *Ecological Indicators*, 113, 106160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106160>
- Yamada, K. (2000). A collection of the genus *Radula* (Radulaceae; Hepaticae) made by Marko Lewis in Bolivia. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 265(88), 257–265.
- Yamada, K., & Gradstein, S. R. (1991). The Genus (Hepaticae) in the Galapagos

Islands. *Bryophyte Diversity and Evolution*, 4(1), 63–68.

<https://doi.org/10.11646/bde.4.1.8>

Yu, J., Wu, X., Liu, C., Newmaster, S., Ragupathy, S., & Kress, W. (2021).

Ecotoxicology and Environmental Safety Progress in the use of DNA barcodes in the identification and classification of medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111691>

Zepeda, C., Ávila, P., Díaz, U., Alanís, Y., Zarazúa, G., & Amaya, A. (2014).

Diversidad de musgos epifitos de la zona metropolitana del valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 108–124.

<https://doi.org/10.7550/rmb.35456>