



Citación: Espinoza Otazu , B. R., Holgado Rojas, M. E., Huaraca Huasco, W., Carhuapoma Soto, J. Z., Huamantupa Chuquimaco, I., Galiano Cabrera, D. F., & Metcalfe, D. B. (2024). Diversidad de Musgos Terrestres, su Relación con la Temperatura y Humedad en Parcelas Permanentes con Tratamiento, Paucartambo, Cusco, Perú. Q'EUÑA, 15(2), 1 - 10.

<https://doi.org/10.51343/rq.v15i2.1568>

Recibido: 22-09-2024

Aceptado: 08-11-2024

Publicado: 23-12-2024



Copyright: © 2024. Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Autor Corresponsal:

Blanca Rosa Espinoza Otazu
b.rosaespinozaotazu@gmail.com

Diversidad de Musgos Terrestres, su Relación con la Temperatura y Humedad en Parcelas Permanentes con Tratamiento, Paucartambo, Cusco, Perú

Diversity of Terrestrial Moss, its Relationship with Temperature and Humidity in Permanent Plots with Treatment, Paucartambo, Cusco, Peru

Blanca Rosa Espinoza Otazu^{1,2}, María Encarnación Holgado Rojas^{1,3}, Walter Huaraca Huasco^{1,4}, Jaqueline Zenaída Carhuapoma Soto⁵, Isau Huamantupa Chuquimaco^{6,7}, Darcy Fernando Galiano Cabrera^{1,2}, Daniel Benjamin Metcalfe^{8,9}

¹Departamento Académico de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura 733 Cusco, Perú.

²Asociación Civil sin fines de Lucro para la Biodiversidad, Investigación y Desarrollo Ambiental en Ecosistemas Tropicales, A. Argentina F-9. Urb Ucchullo Grande.

³Centro de Investigación y Producción de Hongos Alimenticios y Medicinales CIPHAM, Laboratorio de Micología Aplicada, Departamento Académico de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura 733 Cusco, Perú.

⁴Universidad de OXFORD, Wellington Square, Oxford OX1 2JD, Reino Unido

⁵Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Portal Independencia N.º 57, Ayacucho-Perú

⁶Herbario "Alwyn Gentry" (HAG), Departamento Académico de Ciencias Básicas. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), Av. Jorge Chávez 1160. Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú.

⁷Centro Ecológico INKAMAZONIA, Valle de Kosñipata, vía Cusco-Reserva de Biósfera del Manú. Cusco, Perú.

⁸Departamento de Geografía Física y Ciencias de los Ecosistemas, Universidad de Lund, Sölvegatan 12, 223 62, Lund, Suecia.

⁹Departamento de Ecología y Ciencias Ambientales, Universidad de Umea, Linnaeus väg 6, 901 87, Umea, Suecia.

Resumen

El presente estudio se realizó en cinco parcelas experimentales: reducción de neblina (RN), control de reducción de neblina (CRN), reducción de escorrentía (RE), reducción de lluvia (RLL) y un control combinado para reducción escorrentía y lluvia (CRLLE), con la finalidad de analizar la diversidad de musgos terrestres, su relación con la temperatura y humedad en el bosque nublado de Wayqecha. Se utilizó la metodología de Newmaster en cada parcela y se recolectaron muestras mediante el método modificado de Iwatsuki; las mediciones de temperatura y humedad se realizaron con data loggers TOMST instalados en cada parcela, para la determinación de las especies se utilizaron guías de briófitas de América tropical de Gradstein y la plataforma Trópicos así como consulta a especialistas, la diversidad alfa y beta se estimaron usando el software PAST4, mientras que la relación entre las variables ambientales y la diversidad se evaluó mediante un modelo de regresión lineal múltiple. Se identificaron 26 especies de musgos, distribuidas en 18 géneros y 15 familias. La mayor diversidad alfa se registró en la parcela RE, con un índice de Shannon de 2.23; la similitud más alta entre parcelas fue entre CRLLE y RE, con un 37%. Aunque la temperatura no mostró relación positiva con la diversidad, la humedad sí presentó una relación significativa, indicando la influencia de la humedad del suelo en las poblaciones de musgos en bosques nublados.

Palabras clave: Diversidad, musgos terrestres, bosque nublado.

Abstract

The present study was carried out in five experimental plots: fog reduction (RN), fog reduction control (CRN), runoff reduction (RE), rainfall reduction (RLL) and a combined control for runoff and rainfall reduction (CRLLE). With the purpose of analyzing the diversity of terrestrial mosses, their relationship with temperature and humidity in the Wayqecha cloud forest. The Newmaster methodology was used in each plot and samples were collected using the modified Iwatsuki method; Temperature and humidity measurements were carried out with TOMST data loggers installed in each plot. To determine the species, guides to bryophytes from tropical America from Gradstein and the Tropics platform were used, as well as consultation with specialists. Alpha and beta diversity were estimated. using PAST4 software, while the relationship between environmental variables and diversity was evaluated using a multiple linear regression model. 26 species of mosses were identified, distributed in 18 genera and 15 families. The highest alpha diversity was recorded in the RE plot, with a Shannon index of 2.23; The highest similarity between plots was between CRLLE and RE, with 37%. Although temperature did not show a positive relationship with diversity, humidity did present a significant relationship, indicating the influence of soil moisture on moss populations in cloud forests.

Keywords: Diversity, Terrestrial mosses, Cloud forest

Introducción

Los musgos, pertenecientes al grupo de plantas no vasculares más grande y diverso de los briófitos, juegan un papel crucial en los ecosistemas naturales; estos organismos, de pocos centímetros de altura, son predominantes en ambientes húmedos y se vuelven especialmente visibles durante las épocas de lluvia (Morales et al., 2017; Ardiles, 2008), son las primeras especies en colonizar ecosistemas degradados, sirven de alimento y hábitat para numerosas especies animales y otras muchas los utilizan para construir sus refugios (Rams, 2008). Además, desempeñan un papel importante en los procesos funcionales de los ecosistemas nubosos, porque actúan en los procesos de regulación de la humedad, tienen formaciones compactas que retienen el agua que son trasladados mediante los troncos a la comunidad biótica (Aguirre y Rangel, 2007).

En el ámbito global, se estima que existen 13,000 especies de musgos (Goffinet et al., 2008); el Neotrópico, en particular, alberga una significativa proporción de estas especies, con aproximadamente 2,600 debido a sus altos niveles de endemismo (Crum y Anderson, 1981; Gradstein et al., 2013; Horwath et al., 2019).

La mayor diversidad de musgos se encuentra en los bosques tropicales especialmente en áreas húmedas y sombrías, cerca de ríos y arroyos, donde la filtración de agua dentro del

bosque fomenta una rica biodiversidad de musgos (Frahm, 2003; Motito y Rivera, 2017; Becker et al., 2007); a altitudes elevadas se puede encontrar índices de diversidad altas, debido a su adaptación al frío (Benítez et al., 2019 & Horwath, 2011).

La cobertura densa de musgos en un hábitat suele ser un indicativo de condiciones óptimas de humedad, permitiendo así una evaluación de la distribución de las briófitas en función del nivel de humedad disponible (Soloaga, 2014; Pinzón y Linares, 2002; Triviño et al., 2018), su alta capacidad para retener humedad resulta de su estructura simple (Dávila y Estrada, 2020; Merchán et al., 2011). Además, presentan respuestas rápidas a las variaciones del cambio climático y a modificaciones ambientales como temperatura, humedad, precipitación e intensidad lumínica (Núñez et al., 2004; Saji, 2014; Soloaga, 2014). Esta sensibilidad hace que los musgos sean potenciales indicadores ambientales de cambios en sus hábitats. Sin embargo, existe una falta de estudios detallados sobre el rol y la importancia ecológica de estos organismos y cómo podrían servir como indicadores de disturbios ambientales, por lo que en la presente investigación se evalúa la diversidad de musgos terrestres, su relación con la temperatura y humedad del suelo en parcelas permanentes con tratamiento ubicados en el bosque nublado de Wayqecha de la provincia de Paucartambo, Cusco.

Área de Estudio

El bosque nublado de Wayqecha se localiza en el distrito de Kosñipata, provincia de Paucartambo, en la región Cusco, abarcando un rango altitudinal de 2,350 a 3,550 msnm. Esta área forma parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional del Manu (PNM), (Figura 1). La investigación se desarrolló en parcelas permanentes de 30 x 30 previamente establecidas por Metcalfe et al. en el 2020 con las siguientes características (Figura 2):

Reducción de Neblina (RN). Reducción de nubes-experimental. La instalación esta situada a 2,943 msnm, con una forma trapezoidal y una superficie de 416 m². Consta de una malla raschel que rodea la parcela, simulando un ambiente sin precipitación horizontal (neblina).

Control para Reducción de Neblina (CPRN). Reducción de nubes-control. Esta ubicada a 2,971 m, también con una forma trapezoidal, y tiene una superficie de 443 m².

Reducción de Lluvia (RLL). Sequía-exclusión de precipitación. Se encuentra a a 3,003 m con ausencia de precipitación vertical, abarcando 900m². La instalación cuenta con un techo de plástico que simula un ambiente seco al evitar las lluvias.

Reducción de la Escorrentía (RE). Sequía-exclusión de flujo de precipitación. La parcela, ubicada a 2998m, no presenta precipitación lateral en el nivel del suelo y tiene un área de 900 m². Se ha instalado una capa de plástico de aproximadamente 1.5m a lo largo del surco en la parte alta de la parcela, simulando un ambiente sin escorrentía a nivel del suelo.

Control para Reducción de la escorrentía y Reducción de lluvia (CRLLE). Esta parcela se encuentra a una altitud de 3011m y abarca una hectárea dividida en 25 subparcelas. Para el control de esta parcela se consideró únicamente una de estas subparcelas, que mide 400 m².

Figura 1

Mapa base de la ubicación del bosque nublado de Wayqecha

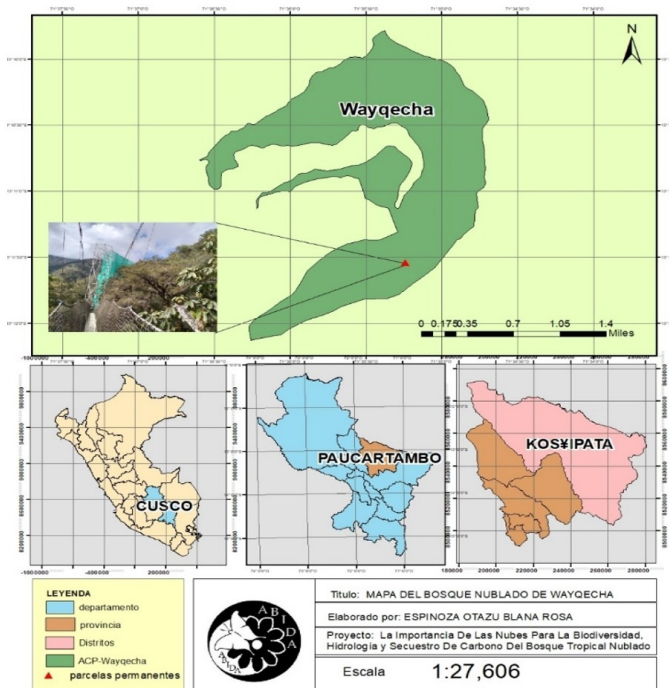
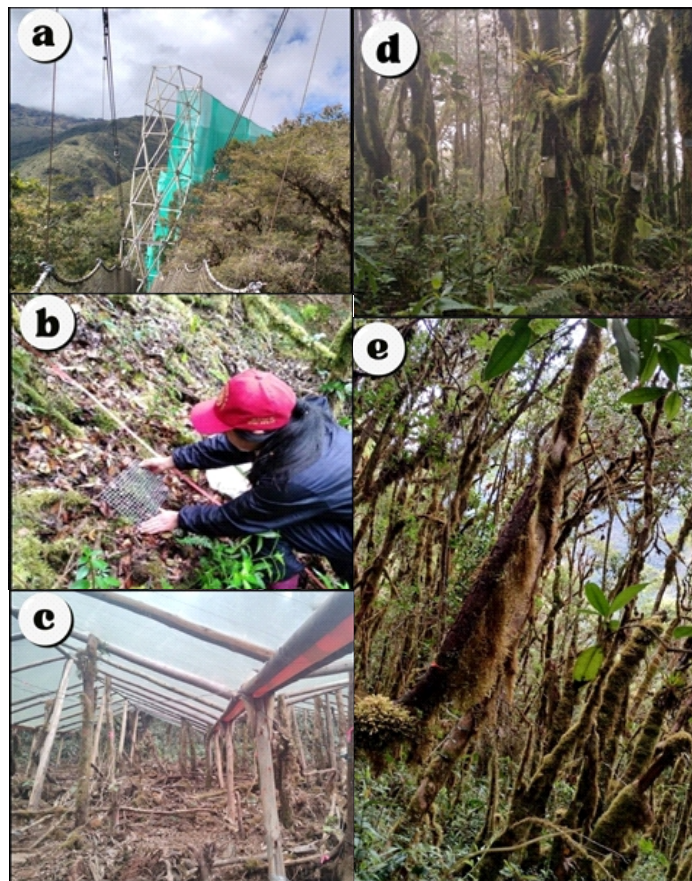


Figura 2

Características de las parcelas con tratamientos



Nota. a) Reducción de neblina (RN), b) Control para Reducción de neblina (CPRN), c) Reducción de lluvia (RLL), d) Reducción de la escorrentía (RE). e) Control para Reducción de la escorrentía y Reducción de lluvia (CRLLE).

Metodología

En cada una de las parcelas permanentes se instaló un cuadrante de 10 m x 2 m, utilizando la metodología de Muestreo Florístico por Hábitats, descrita por Newmaster et al. (2005). A su vez, cada cuadrante fue subdividido en 20 subcuadrantes de 1 m² (Soloaga, 2014) realizándose la evaluación al ras del suelo, intercalando los subcuadrantes en un patrón en zigzag, seleccionándose para este fin 10 subcuadrantes.

Colección de Muestras

Las muestras de musgos se colectaron en fresco y se colocaron en sobres de papel periódico, indicando el número, código de colecta y algunos aspectos como: sombra, luz, sobre hojarasca, suelo firme, etc (Soloaga, 2014). La recolección comenzó en el primer cuadrante, donde se registraron todas las especies presentes. En el segundo cuadrante, se recolectaron aquellas especies que no estaban en el primero, y este patrón continuó hasta el décimo cuadrante (Mateo, 2011).

Identificación de Muestras

Las muestras se identificaron en los ambientes de la Asociación Civil sin fines de Lucro para la Biodiversidad, Investigación y Desarrollo Ambiental en Ecosistemas Tropicales (ABIDA); con la ayuda de un microscopio óptico y claves de identificación, para determinar familia se utilizó la Guía de las briófitas de la América tropical de Gradstein et al. (2001) volumen 86 y las especies fueron determinadas siguiendo la clave de identificación de la página web Trópicos en la sección de proyectos en Briofitas Andinas.

Determinación de la Diversidad de Especies

Se utilizó una plantilla cuadrículada transparente de 20 cm x 30 cm Iwatsuki (1969) modificada por García et al., (2016) sobre cada uno de los cuadrantes establecidos en

zigzag en las cinco parcelas, registrándose el conteo de los cuadrantes ocupados por cada especie de musgos terrestres. Los índices de diversidad se estimaron mediante el paquete de programa de estadística y análisis de datos paleontológico PAST4.

Determinación de la Influencia de la Temperatura y Humedad en la Diversidad de Especies

La temperatura se midió a tres niveles (temperatura ambiental del sotobosque, temperatura al ras del suelo, y temperatura a 10 cm bajo el suelo); mientras que los datos de la humedad se registró en un solo nivel. Se calcularon los promedios anuales con los datos registrados en el datalogger TOMST instalado en cada parcela tomándose datos crudos cada 15 min durante un año. La regresión lineal múltiple permitió modelar cómo estas variables interactúan para afectar la diversidad, es decir, permite entender cómo la diversidad cambia en respuesta a diferentes combinaciones de temperatura y humedad.

Resultados

Diversidad de Especies

Se registro 26 especies de musgos terrestres distribuidas en 15 familias, presentes en las parcelas experimentales y en la parcela control del bosque nublado de Wayqecha (Tabla 1, Figura 3).

La mayor riqueza de especies se presentó en la familia *Leucobryaceae* con las especies del género *Campylopus* mientras que *Porotrichum sp.* fue la especie más abundante con 304 individuos distribuidas en las cinco parcelas, seguida por *Sematophyllum sp.* con 145 individuos presente en cuatro parcelas; *Brachymitrium sp.*, *Racopilum sp.*, *Rhodobryum procerum*, *Pogonatum perichaetiale* y *Pottiaceae sp1*, con 6, 5, y 2 individuos respectivamente (Figura 4).

Tabla 1

Total de especies registradas en las diferentes parcelas con tratamientos, número total de familias (n=15) y especies (n=26)

| FAMILIA | ESPECIE_ AUTOR Y AÑO | CRLLE | RE | RLL | RN | CPRN |
|--------------------|--|-------|----|-----|-----|------|
| BARTRAMIACEAE | <i>Bartramia angustifolia</i> , Mitt., 1869 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BARTRAMIACEAE | <i>Bartramia longifolia</i> , Hook., 1818 | 6 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| BRYACEAE | <i>Rhodobryum beyrichianum</i> , Hampe, 1875 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| BRYACEAE | <i>Rhodobryum procerum</i> , Paris., 1898 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| DICRANACEAE | <i>Dicranella sp.</i> , Schimp., 1856 | 0 | 75 | 0 | 1 | 0 |
| DICRANACEAE | <i>Dicranum sp.</i> , Hedw., 1801 | 0 | 34 | 0 | 13 | 0 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus huallagensis</i> , Broth., 1906 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus sp1</i> , Brid. ;1818 | 0 | 0 | 0 | 28 | 6 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus sp2</i> , Brid. ;1818 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus sp3</i> , Brid. ;1818 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus sp4</i> , Brid. ;1818 | 20 | 26 | 0 | 3 | 41 |
| LEUCOBRYACEAE | <i>Campylopus sp5</i> , Brid. ;1818 | 26 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| MNIA CEAE | <i>Plagiomnium rhynchophorum</i> , Kop., 1971 | 8 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| MNIA CEAE | <i>Schizymenium sp.</i> , Harv., 1838 | 26 | 34 | 0 | 0 | 0 |
| NECKERACEAE | <i>Porotrichum sp.</i> , Hampe, 1863 | 67 | 52 | 25 | 116 | 44 |
| PILOTTRICHACEAE | <i>Lepidopilum sp.</i> , Broth., 1907 | 0 | 0 | 0 | 11 | 41 |
| POTTIACEAE | <i>Pottiaceae sp1</i> , Hampe., 1853 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PYLAISIADELPHACEAE | <i>Isopterygium sp1</i> , Mitt., 1869 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| PYLAISIADELPHACEAE | <i>Isopterygium sp2</i> , Mitt., 1869 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| RACOPILACEAE | <i>Racopilum sp.</i> , Breauv., 1805 | 0 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| SEMATOPHYLLACEAE | <i>Sematophyllum sp.</i> , Mitt., 1865 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 |
| SPLACHNACEAE | <i>Brachymitrium sp.</i> , Taylor., 1846 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| THUIDIACEAE | <i>Thuidium sp.</i> , Schimp., 1852 | 79 | 14 | 0 | 31 | 21 |
| POLYTRICHACEAE | <i>Polytrichum juniperinum</i> , Hedw., 1801 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POLYTRICHACEAE | <i>Pogonatum perichaetiale</i> , Jaeger., 1875 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| SPHAGNACEAE | <i>Sphagnum sp.</i> , Dumort, 1829 | 9 | 24 | 0 | 0 | 9 |

Diversidad Alfa

El número total de especies de musgos terrestres varía para las parcelas de tratamiento, el número más alto de presencia de especies se registró en la parcela RE con 14 especies, seguida por CRLLE con 12 especies, CPRN con 11 especies, RN con 10 especies y RLL con 1 especie (Figura 5.a); de igual forma para la variación de la diversidad, la parcela RE presentó una mayor variedad de especies con índice de Shannon de 2.25, mientras que en las parcelas CRLLE y RE, este índice fue de 2, 14 y 2.13 respectivamente ; por otro lado, la diversidad baja se presentó en la parcela RN con 1.66 y la parcela RLL no se encuentra dentro de los valores de Shannon con 0 (Figura 5.b). Estos resultados indican que la parcela RE no solo tiene el mayor número de especies, sino que también muestra una mayor diversidad, lo que sugiere un ecosistema más saludable y variado en comparación con las otras parcelas.

Figura 3

Diversidad de musgos terrestres, en parcelas permanentes de tratamiento, Paucartambo, Cusco



Figura 4

Variación total del número de individuos por especie

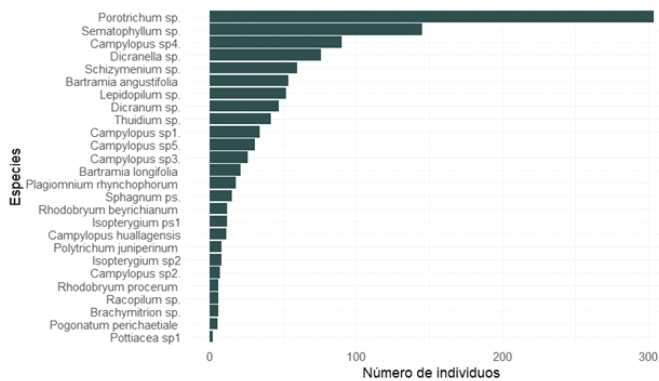
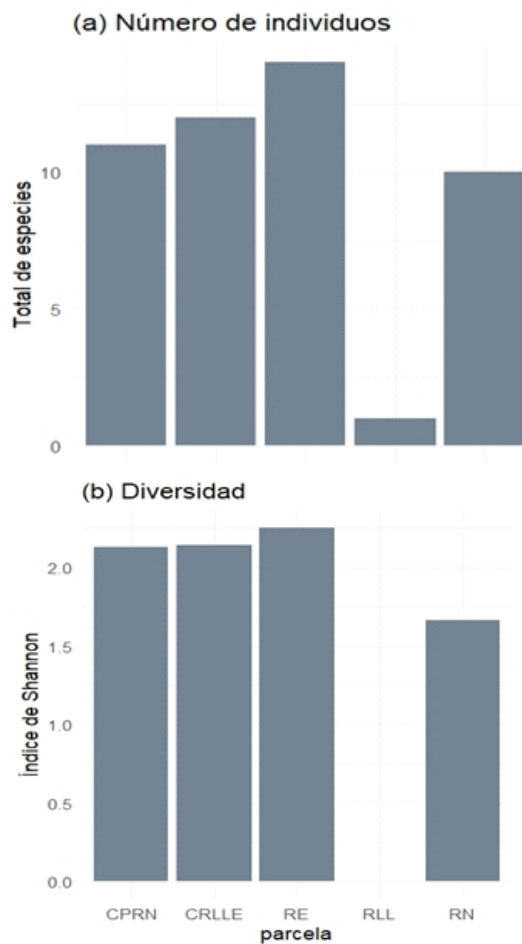


Figura 5

Representación gráfica de la variación del número total de individuos y la diversidad por parcela



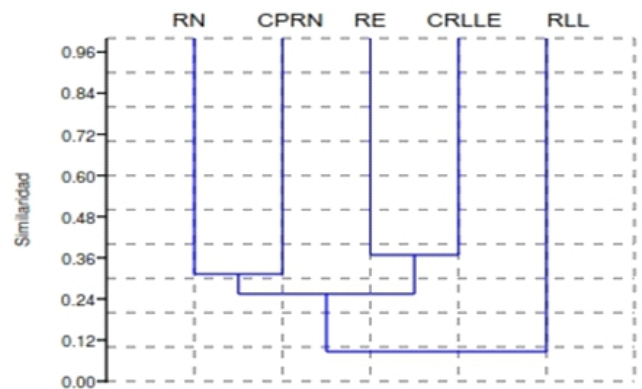
Diversidad Beta

El índice de similitud de Jaccard proporciona una medida cuantitativa de la similitud entre diferentes parcelas de musgos, basándose en la presencia y ausencia de especies. Se determinó un índice del 37% entre CRLLE y RE lo que sugiere que hay una cantidad moderada de especies

compartidas, por lo que estas parcelas probablemente tienen condiciones ambientales o características similares que permiten la coexistencia de un número significativo de especies. Por otro lado la similitud del 33% entre RE y RN también sugiere cierta relación, aunque menos marcada que entre CRLLE y RE. Mientras que la baja similitud del 7% entre RLL y RE indica que estas parcelas son bastante diferentes en términos de las especies presentes, lo que puede reflejar variaciones en el hábitat o en las condiciones ecológicas (Figura 6). Este análisis es crucial para entender la distribución de las especies de musgos y cómo las diferentes parcelas pueden estar influenciadas por factores ecológicos comunes o divergentes.

Figura 6

Dendrograma de similitud basado en el índice de Jaccard entre las cinco parcelas



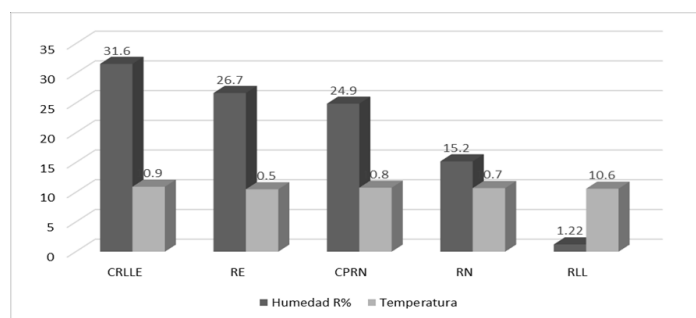
Determinación de la Influencia de la Temperatura y Humedad sobre la Diversidad de Musgos Terrestres

La humedad relativa del suelo y la temperatura promedio presentaron variaciones significativas entre las diferentes parcelas de tratamiento reportándose una menor humedad en la parcela RLL con 1.22%, seguida por RN 15.2%, CPRN 24.9%, RE con 26.7% y la mayor humedad en CRLLE con 31.6%. Estos datos indican que la parcela CRLLE tiene la mayor capacidad de retención de humedad, lo que puede influir positivamente en la biodiversidad y en la salud del ecosistema, mientras que la parcela RLL muestra una capacidad muy baja para mantener humedad en el suelo. Sin embargo, el promedio de temperatura entre las cinco parcelas presentó una variación mínima, de solo 0.1°C, lo que sugiere que las condiciones térmicas son relativamente homogéneas en el área de estudio (Figura 7).

La variabilidad en la humedad del suelo puede tener un impacto significativo en la distribución y diversidad de musgos, ya que estos organismos dependen de condiciones húmedas para su desarrollo y supervivencia. En contraste, la temperatura uniforme sugiere que otros factores, como la humedad y el tipo de vegetación, son más determinantes en la diversidad de especies presentes en cada parcela.

Figura 7

Variación de la temperatura y humedad



Regresión múltiple

La regresión múltiple realizada en el estudio proporciona información valiosa sobre la relación entre la diversidad alfa de musgos y dos variables ambientales: la humedad y la temperatura. De la ecuación $y=7.89+0.078x_1-0.73x_2$, el coeficiente de la humedad es positivo, (0.078) lo que indica que a medida que aumenta la humedad, la diversidad alfa también tiende a aumentar. Esto sugiere que condiciones más húmedas son favorables para una mayor diversidad de musgos. Mientras que la temperatura tiene un Coeficiente negativo (-0.73), lo que sugiere que un aumento en la temperatura está asociado con una disminución en la diversidad alfa. Analizando las tendencias de la relación entre la humedad y la diversidad alfa (Tabla 2, Figura 8), la línea azul en la gráfica representa esta relación, mostrando una tendencia positiva y significativa con un valor de p de 0.049. Esto significa que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que mayores niveles de humedad están asociados con una mayor diversidad alfa. Mientras que en la relación entre temperatura y diversidad alfa, la línea naranja indica una tendencia prácticamente horizontal, lo que sugiere que no hay una relación significativa entre la temperatura y la

diversidad alfa, con un valor de p de 0.646. Esto implica que las variaciones en la temperatura no afectan notablemente la diversidad de musgos en este contexto.

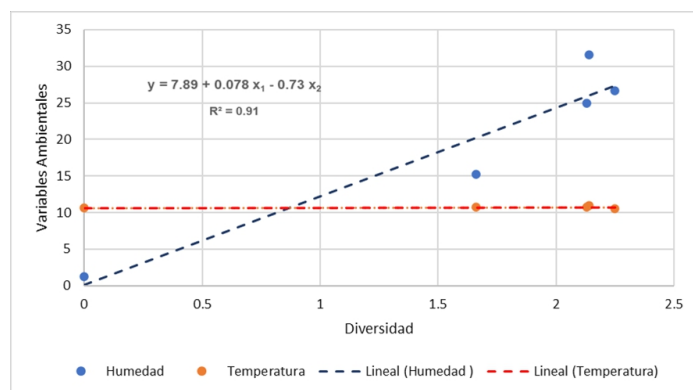
Tabla 2

Análisis de regresión múltiple de las variables ambientales con la diversidad alfa

| | Coeficientes | Error | Estadístico | | Probabilidad | |
|-----------------------|--------------|--------|-------------|-------|--------------|----------------|
| | | típico | t | p | R | R ² |
| Intercepción | 7.8933 | 14.498 | 0.544 | 0.641 | 0.956 | 0.914 |
| Humedad X1 | 0.0780 | 0.0180 | 4.329 | 0.049 | | |
| Temperatura X2 | -0.7321 | 1.3695 | -0.534 | 0.646 | | |

Figura 8

Análisis de regresión de la variable ambientales con la diversidad alfa



Discusión

El número total de especies reportadas en esta investigación fue de 26 superando al registro de 12 especies de musgos epifitos mencionado por Horwath (2011) en parcelas permanentes de ABERG, ambas ubicadas a 3000 m de elevación en el Valle del Kosñipata. Asimismo, Benitez et al. (2019) documentaron 20 especies de musgos terrestres en los bosques montañosos de Ecuador, a altitudes entre 3270 m y 3400 m. Se reporta por primera vez la presencia de *Porotrichum sp.* que además es la especie más abundante en el área de estudio, encontrándose en todas las parcelas de muestreo. La abundancia de esta especie podría estar relacionada con su tolerancia a la disminución de la humedad, lo que sugiere una adaptación específica a las condiciones ambientales del bosque nublado en Wayqecha.

Este hallazgo resalta la importancia ecológica y la diversidad de musgos en este ecosistema montano, contribuyendo al entendimiento de su dinámica y conservación.

En el área de estudio, el índice de Shannon reveló que la parcela de Reducción de Escorrentía (RE) presentó una alta diversidad en comparación con la parcela CRLLE. Esta diferencia en la diversidad podría estar relacionada con la variación en la pendiente, como lo mencionan Benitez et al. (2019). En cuanto a la diversidad beta, estas mismas parcelas CRLLE y RE mostraron una alta similitud, atribuida a sus características topográficas similares. Por otro lado, las parcelas RLL y RE presentaron menor similitud, ya que en la parcela RLL solo persistió una especie: *Porotrichum sp.* Esto indica que, ante cambios drásticos en la humedad, esta especie podría tener una mayor capacidad de supervivencia frente al cambio climático. Los resultados sugieren que la diversidad de musgos en el bosque nublado de Wayqecha está influenciada por factores ambientales como la pendiente y la humedad del suelo, lo que resalta la importancia de estos ecosistemas en el contexto del cambio climático y su conservación.

Conclusiones

Se registraron 26 especies de musgos terrestres, pertenecientes a 18 géneros, distribuidas en 15 familias y tres clases *Bryopsida*, *Polytrichopsida* y *Shagnopsida*, siendo *Bryopsida* la clase con el mayor número de familias. Destaca la parcela "CRLLE" por presentar el mayor número de individuos atribuible a la baja perturbación. En cuanto a la composición específica, las especies *Porotrichum sp.*, *Sematophyllum sp.* y *Campylopus sp4* son las que más dominaron, mientras que las especies *Pogonatum perichaetiale* y *Pottiaceae sp1* fueron menos abundantes.

La parcela RE destacó por tener la mayor diversidad alfa, con un índice de Shannon de 2.23. Además, se observó que la similitud más alta entre parcelas se dio entre CRLLE y RE, alcanzando un 37%. La humedad del suelo mostró una relación significativa con la diversidad de musgos, lo que

resalta la influencia crucial de este factor en las poblaciones de musgos en bosques nublados. Se evidenció una tendencia positiva: a medida que aumenta la humedad, también lo hacen los índices de diversidad. En contraste, la temperatura presentó una tendencia ligeramente negativa, sugiriendo que incrementos en la temperatura pueden estar asociados con una disminución en la diversidad de musgos. Estos hallazgos subrayan la importancia de mantener condiciones adecuadas de humedad para favorecer la biodiversidad en estos ecosistemas.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la empresa ABIDA por el financiamiento y permitimos utilizar sus ambientes para la ejecución del presente proyecto; a Beisit Luz Puma, Roxana Saccatuma, Daniela Corrales, Sari Soto por su acompañamiento en las salidas de campo, a Elias Condori Cuti por la foto de portada y al Centro de Investigación ECOTAXON.

Referencias

- Aguirre, J. y Rangel, O. (2007). Amenazas a La Conservación De Las Especies De Musgos y Líquenes En Colombia -Una Aproximación Inicial. *Caldasia*, 29 (2) , 235 - 262 : <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v29n2/v29n2a5.pdf>
- Ardiles, V. (2008). Briófitas de los bosques templados de Chile, una introducción al mundo de los musgos, hepáticas y antoceros, guía de campo. *Comité Gestión Ambiental -Área Bosques, Corporación Chilena de la Madera*.
- Becker, A., Körner, C., Brun, J. J., Guisan, A., & Tappeiner, U. (2007, 1 de febrero). Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mountain Research and Development* : [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2007\)27\[58:ealusa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2007)27[58:ealusa]2.0.co;2)
- Benítez, Á., Robbert Gradstein, S., Cevallos, P., Medina, J., & Aguirre, N. (2019). Terrestrial bryophyte communities in relation to climatic and topographic factors in a paramo of southern Ecuador. *Caldasia*, 41(2), 370 - 379 : <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.67869>

- Carhuapoma, J. Z. (2019). *Musgos en el Santuario Histórico de la Pampa de Ayacucho, distrito Quinua, provincia Huamanga. Ayacucho-2017*. [Tesis de Pregrado-Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Crum, H., y Anderson, L. (1981). Mosses of Eastern North America. *Waksman Institute of Microbiology*.
- Dávila, S.M. y Estrada J.C, (2020). “*Musgo Sphagnum magellanicum para tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo a nivel de laboratorio, 2020*”. [Tesis de Pregrado-Universidad Cesar Vallejo].
- Frahm, J. P. (2003). Manual of tropical bryology. international journal on the biology of tropical bryophytes 23, 196.
- Goffinet, B., Buck, W., & Shaw, A. (2008). Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In B. Shaw, & A. Goffinet (Eds.), *Bryophyte biology*. Cambridge University Press.
- Gradstein, R., Churchill, S., & Salazar-Allen, N. (2013). *Guide to the Bryophytes of Tropical America*. Editorial Board.
- Horwath, A. B. (2011). Diversidad y Distribución espacial de briofitas epífitas a lo largo de las gradientes horizontales y verticales en Perú. [Tesis Doctor - Universidad de OXFORD].
- Morales, C., Ospino, J., Jiménez, J., Berbén, A., y Negritto, M. (2017). Briófitos: Un Mundo En Miniatura. *INFOFLORA Boletín de Botánica, 1, 2,3.:* http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/flora/airnr_cn_7567_2007.pdf
- Motito, A., y Rivera, Y. (2017). Briofitas. *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*, 118-133.
- Pinzón, M., y Linares, E. (2002). Catálogo Comentado de los Líquenes y Briófitos de la Región Subxerofítica de la Herrera (Mosquera, Cundinamarca). *Caldasia, 23(1)*, 237- 246.
- Rams, S. (2008, 15 de mayo). ¿Para qué sirven los musgos después de Navidad? Primera parte. El papel ecológico de los briófitos: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/29210>
- Rincón, S. A., Toro, J., & Burgos, J. (2009). Lineamientos guía para la evaluación de criterios de biodiversidad en los estudios ambientales requeridos para licenciamiento ambiental. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt e Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.1176/1/31411/162>
- Saji, M. (2014). *Diversidad de musgos epífitos (bryophyta) en bosques de polylepis (rosaceae) en las localidades de cancha cancha, contorkayku, k'elloq'ocha y manthanay, cordillera del vilcanota- cusco*. [Tesis de pregrado-Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas].
- Serrano, Y. (2015). *Publicación: Estudio poblacional de los musgos de diferentes sectores con alteración ecológica en el municipio de Bayamón, Puerto Rico* [Tesis Doctoral-Universidad Computense de Madrid, facultad de ciencias biológicas, Departamento de Biología Vegetal]. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/40075>
- Soloaga, M. A. (2014). *Diversidad de musgos en cuatro tipos de uso de suelo en el caserío san Agustín - distrito Hermilio Valdizan – Huánuco*. [Tesis de Pregrado-Universidad Nacional de la Selva, facultad de recursos naturales renovables].
- Triviño, L., y Callejas, J. (2018). *Estudio de diversidad y cobertura de la brioflora epífita del tramo vial uf03 (la calera-patios), Cundinamarca Colombia. 03, 1-79*. [Tesis de Pregrado- Universidad distrital Francisco José de Caldas, facultad de ciencias y educación, proyecto curricular licenciatura en biología Bogotá]. <http://hdl.handle.net/11349/14959>